

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

**MATERIÁLOVÉ VYHODNOCENÍ SVAROVÉ ČOČKY
VYSOKOPEVNOSTNÍCH PLECHŮ**

**EVALUATING WELDING LENS ON HIGH STRENGTH
METAL PLATES**

KMT-B-162

Michal SUCHÝ

Vedoucí práce: doc. Ing. František STUHLÍK, CSc.
Konzultant: Ing. Květoslav ZDRAŽIL

Počet stran: 60
Počet tabulek: 6
Počet obrázků: 55
Počet grafů: 6

1. 6. 2010



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

jméno a příjmení

Michal S U C H Ý

studijní program

2341 B Strojírenství

obor

Materiály a technologie

zaměření

Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Materiálové vyhodnocení svarové čochy vysokopevnostních plechů

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s materiálovou problematikou trvalých spojů vysokopevnostních plechů v automobilových karoseriích.
2. Zaměřte se na materiál bodového svaru a seznamte se s metodikou jeho zkoušení.
3. Experimentálně ověřte mechanické vlastnosti spojovaných materiálů včetně nedestruktivních metod.
4. Metalograficky vyhodnoťte svarovou čochu a zjistěte ovlivněné pásmo.
5. Vyhodnoťte získané poznatky a doporučte další postup.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran

- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] Kolektiv autorů: Materiály a jejich svařitelnost, Ostrava: ZEROSS – svářečské nakladatelství, 2001
- [2] Kolektiv autorů: Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, Ostrava: Ostrava:ZEROSS svářečské nakladatelství, 2000
- [3] Ptáček, L. a kolektiv: Nauka o materiálu I, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. František Stuchlík, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Květoslav Zdražil

L.S.

doc. Ing. František STUHLÍK, CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav MALÝ, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.03.2010

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ) . Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 1. června 2010

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Františku Stuchlíkovi, CSc. za odborné vedení a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat svému konzultantovi Ing. Květoslavu Zdražilovi a Ing. Vladěce Reicheltové ze společnosti Škoda Auto, a.s. za cenné rady a poskytnutí podkladů. V neposlední řadě děkuji své rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá materiálovým hodnocením svarové čochy pevnostních plechů, která byla vytvořena technologií bodového odporového svařování u vzorků určených k únavovým zkouškám. V práci jsou zmíněny oceli, které se používají v automobilovém průmyslu ke stavbě karosérií. Dále jsou zde popsány metodiky zkoušení bodových svarů destruktivními i nedestruktivními metodami. V praktické části jsou u vybraných vzorků provedeny experimentální zkoušky tahem-smykem, ultrazvukem a metalografické vyhodnocení svarové čochy.

Klíčová slova:

bodový svar, čochka, destruktivní metoda, makrostruktura, mikrostruktura, ultrazvuk, vysokopevnostní plech, vzorek

Annotation

Bachelor thesis is dealt with evaluating welding lens on strength metal plates that have been created by technology for spot resistance welding by specimens intended for fatigue tests. The thesis also mentions steel used in the automotive industry to build car bodies and describes methodics testing spot welds by destructive and non-destructive methods. In the practical part there are performed experimental test by tensile-shear, ultrasound and metallographical evaluation of the weld lens.

Keywords:

spot weld, lens, destructive method, macrostructure, microstructure, ultrasound, high-strength plate, specimen

Obsah

1	Úvod	9
2	Oceli pro stavbu karosérie automobilu	10
2.1	Rozdělení ocelí pro automobilový průmysl	11
2.1.1	Hlubokotažné oceli uklidněné hliníkem	11
2.1.2	Pevnostní oceli	12
2.1.2.1	<i>IF oceli</i>	12
2.1.2.2	<i>BH oceli</i>	12
2.1.2.3	<i>Fosforem legované oceli</i>	13
2.1.2.4	<i>Mikrolegované oceli</i>	13
2.1.3	Vysokopevnostní oceli	14
2.1.3.1	<i>Vícefázové oceli</i>	14
2.1.3.1.1	<i>Dvoufázové oceli DP</i>	14
2.1.3.1.2	<i>Komplexně fázové oceli CP</i>	14
2.1.3.1.3	<i>TRIP oceli</i>	15
2.1.3.1.4	<i>Martenzitické oceli</i>	15
2.1.3.2	<i>Kalené oceli</i>	15
2.1.3.2.1	<i>Legované oceli</i>	16
2.1.3.3	<i>TWIP oceli</i>	16
3	Technologie bodového odporového svařování	17
3.1	Princip bodového odporového svařování	17
3.2	Metalurgie bodového svaru	17
3.3	Svařování pozinkovaných plechů	19
4	Kontrola bodových svarů	20
4.1	Destruktivní zkoušky bodových svarů	20
4.1.1	<i>Zkouška odlupovací</i>	21
4.1.2	<i>Křížová zkouška tahem</i>	21
4.1.3	<i>Zkouška stříhem</i>	22
4.1.4	<i>Zkouška sekáčová</i>	23
4.1.5	<i>Zkouška krutem</i>	23
4.1.6	<i>Zkouška metalografická</i>	23

4.2	Nedestruktivní zkoušky bodových svarů (NDT)	24
4.2.1	<i>Vizuální zkouška VT</i>	24
4.2.2	<i>Zkouška ultrazvukem UT</i>	25
4.2.3	<i>Zkouška magnetickou práškovou metodou MT</i>	26
4.2.4	<i>Zkouška radiografickou metodou RT</i>	28
5	Experimentální zkoušky	31
5.1	Použitý materiál	31
5.2	Tahová zkouška smykem	31
5.2.1	<i>Příprava vzorků</i>	32
5.2.2	<i>Provedení tahové zkoušky smykem</i>	32
5.3	NDT metoda – zkouška ultrazvukem UT	36
5.3.1	<i>Princip zkoušení bodových svarů ultrazvukem</i>	36
5.3.2	<i>Hlavní parametry a vlastnosti bodového svaru při UT</i>	38
5.3.3	<i>Příprava vzorků</i>	40
5.3.4	<i>Provedení ultrazvukové kontroly svarů</i>	41
5.4	Metalografické hodnocení svarové čochy	43
5.4.1	<i>Příprava metalografického vzorku</i>	44
5.4.2	<i>Vyhodnocení struktury bodových svarů</i>	45
5.4.2.1	<i>Hodnocení makrostruktury</i>	45
5.4.2.2	<i>Hodnocení mikrostruktury</i>	47
5.4.3	<i>Mikrotvrdost</i>	52
5.4.3.1	<i>Princip měření</i>	52
5.4.3.2	<i>Naměřené hodnoty tvrdosti</i>	53
6	Závěr	55
	Seznam použité literatury	57
	Seznam obrázků, grafů a tabulek	59

1 ÚVOD

Cílem mnoha automobilek po celém světě je a bude vyrobit automobil, který bude šetrný k životnímu prostředí a zároveň vyhoví náročným požadavkům zákazníka. To vyžaduje radikální řešení v oblasti snižování emisních limitů, které jsou se zhoršujícím se klimatem stále přísnější. Jedním z faktorů, jak se vypořádat s tímto problémem je snížení spotřeby pohonných hmot. To lze u automobilů zajistit několika způsoby. Jedním z nich je snížení celkové hmotnosti vozu. Řešením je využívání různých kombinací materiálů. Stále častěji jsou používány kombinace hlubokotažných ocelových plechů s vysokopevnostními. Aplikací vysokopevnostních ocelí je možné redukovat tloušťku plechů jednotlivých částí karosérie, při zachování maximální aktivní i pasivní bezpečnosti cestujících.

Každá karosérie automobilu se skládá z více částí, které je potřeba spojit do jednoho celku. Nejčastěji se při stavbě karosérie vozu používá technologie pevného spojení pomocí bodového odporového svařování. Osobní automobil obsahuje 4000 až 6000 bodových svarů. Pro zachování kvality a tuhosti karosérie je potřeba věnovat nejvyšší pozornost při kontrole těchto bodových svarů a najít vhodné metodiky pro jejich hodnocení a zkoušení.

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá základními druhy ocelí používanými v automobilovém průmyslu, odporovým svařováním a metodami zkoušek bodového svaru. **V praktické části** jsou použité vzorky hodnoceny pomocí vybraných metod zkoušení svarů. Z destruktivních tahová zkouška smykem, kde se zjišťovala max. síla potřebná k oddělení svařených vzorků a metalografická metoda, kde se hodnotil rozměr svarové čochy a její struktura. Z nedestruktivních zkoušek byla vybrána ultrazvuková kontrola, která měla zjistit přítomnost vnitřních vad a nehomogenit, popř. určit, zda-li průměr svarové čochy vyhovuje či ne.

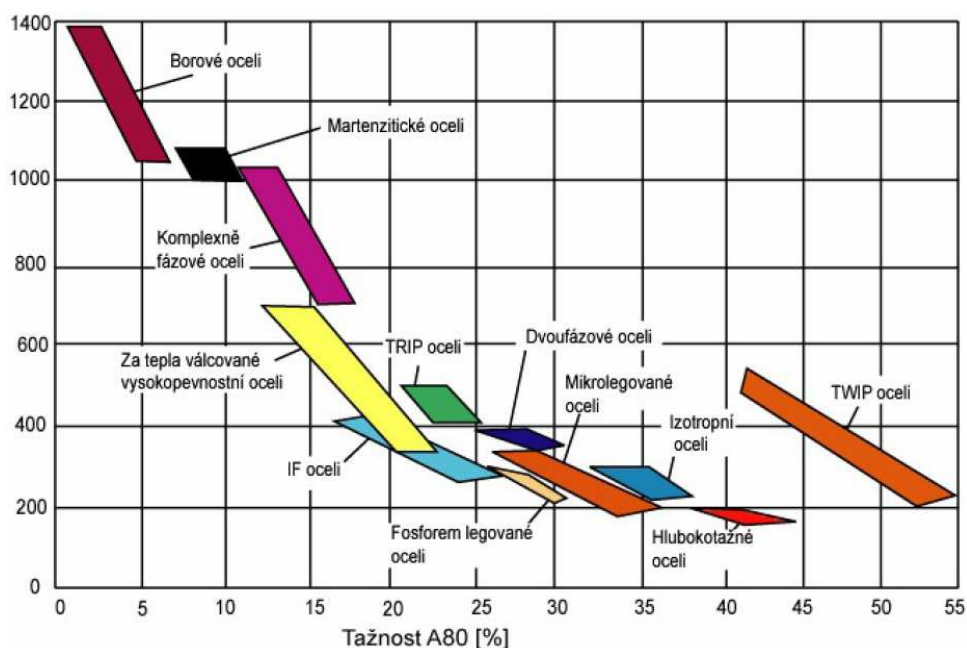
2 OCELI PRO STAVBU KAROSÉRIE AUTOMOBILU

Vývoj ve světě automobilového průmyslu zažívá velký rozvoj, což je v posledních letech dáno automatizací výrobních procesů a zvyšováním kvality a užitkových parametrů vyráběných vozidel.

Z konstrukčního hlediska se při výrobě automobilu nejvíce zaměřuje na snížení tloušťky plechů a zvýšení jejich pevnosti a dynamické únosnosti. Z technologické stránky se zvyrazňují požadavky na velmi vysokou plastičnost a stejnorodost vlastností. Postupně se při lisování dílů přechází na složité velkoplošné výlisky, které vedou ke snižování pracnosti. Vysoká plastičnost je protichůdná požadavku konstruktéra na vysokou pevnost.

Mezi pevnostními a plastickými vlastnostmi je poměrně tvrdá závislost. Se zvyšující se mezí kluzu a mezí pevnosti se obecně snižují charakteristiky tvárnosti jako je tažnost, koeficient normálové anizotropie „r“ a exponent deformačního zpevnění „n“. Konstrukční a technologické požadavky na materiálové vlastnosti jednotlivých dílů a součástek se různí, postupně specifikují a následný výzkum u hutnických výrobců vede k vývoji specializovaných výrobků pro úzký okruh jejich použití. [2]

Obr. č. 1: Ukázka ocelí pro automobilový průmysl



Zdroj: [1]

2.1 ROZDĚLENÍ OCELÍ PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

V kategorii plechů válcovaných za studena dnes existuje mnoho různých koncipovaných materiálů. V zásadě je však můžeme rozdělit do těchto skupin:

- **Hlubokotažné oceli uklidněné hliníkem** (s $R_{p0,2} < 180$ MPa)
- **Pevnostní** (s $R_{p0,2}$ cca 180 – 500 MPa)
 - IF oceli
 - BH oceli
 - Fosforem legované oceli
 - Mikrolegované oceli
- **Vysokopevnostní** (s $R_{p0,2}$ cca 500 – 1200 MPa)
 - Vícefázové oceli
 - Dvoufázové oceli
 - Komplexně fázové oceli
 - TRIP oceli
 - Martenzitické oceli
 - Kalené oceli
 - Legované oceli (bórové)
 - TWIP oceli

2.1.1 Hlubokotažné oceli uklidněné hliníkem

Hlubokotažné oceli uklidněné hliníkem jsou oceli určené k výrobě hlubokého a extra hlubokého tažení plechů. Z metalurgického hlediska mají oceli nízké a přísně limitované obsahy C, Mn, Si, S, P, Al a dalších doprovodných prvků. U těchto ocelí je kladen důraz na vysokou čistotu a rovnoměrnou strukturu s prodlouženým tvarem zrna. Struktura je tvořena feritem s jemnými lamelami karbidu železa rozloženými podél feritických zrn. Aby se dosáhlo vysokého koeficientu normálové anizotropie, musí mít plech dobře vyvinutou krystalografickou texturu. [2]

Jedná se převážně o ocelové plechy s označením:

- CQ (=Comercial Quality) plechy běžné kvality;
- DQ (=Drawing Quality) tažné plechy;
- DDQ (=Deep Drawing Quality) hlubokotažné plechy;
- EDDQ (=Extra Deep Drawing Quality) zvlášť hlubokotažné plechy;
- EDDQ-S (=Extra Deep Drawing Quality) super hlubokotažné plechy.

2.1.2 Pevnostní oceli

2.1.2.1 IF oceli (Interstitials Free Steels)

IF oceli jsou oceli mikrolegované titanem a niobem, které mají vyčistit ferit od interstiticky rozpuštěného uhlíku a dusíku. Uhlík a dusík se vyskytuje jen ve velmi malém množství (řádově desítky ppm). Mikrostruktura je tvořena feritickou matricí s precipitáty TiC, TiN, TiS, NbC a NbN, které jsou v ní rozloženy. Ocel má vysokou tažnost, ale nízký poměr meze kluzu (160 – 190 MPa) a meze pevnosti (120 – 290 MPa), který činí cca 0,6. Vyšší mez kluzu se dosáhne přidáním prvků P, Si, Mn, zejména pak P, kde se hodnoty zvýší o 75 MPa. IF oceli jsou odolné vůči stárnutí (i po žárovém zinkování) a použity při výrobě tvarově složitých dílů (např. blatníky).

2.1.2.2 BH oceli (Bake Hardenability Steels)

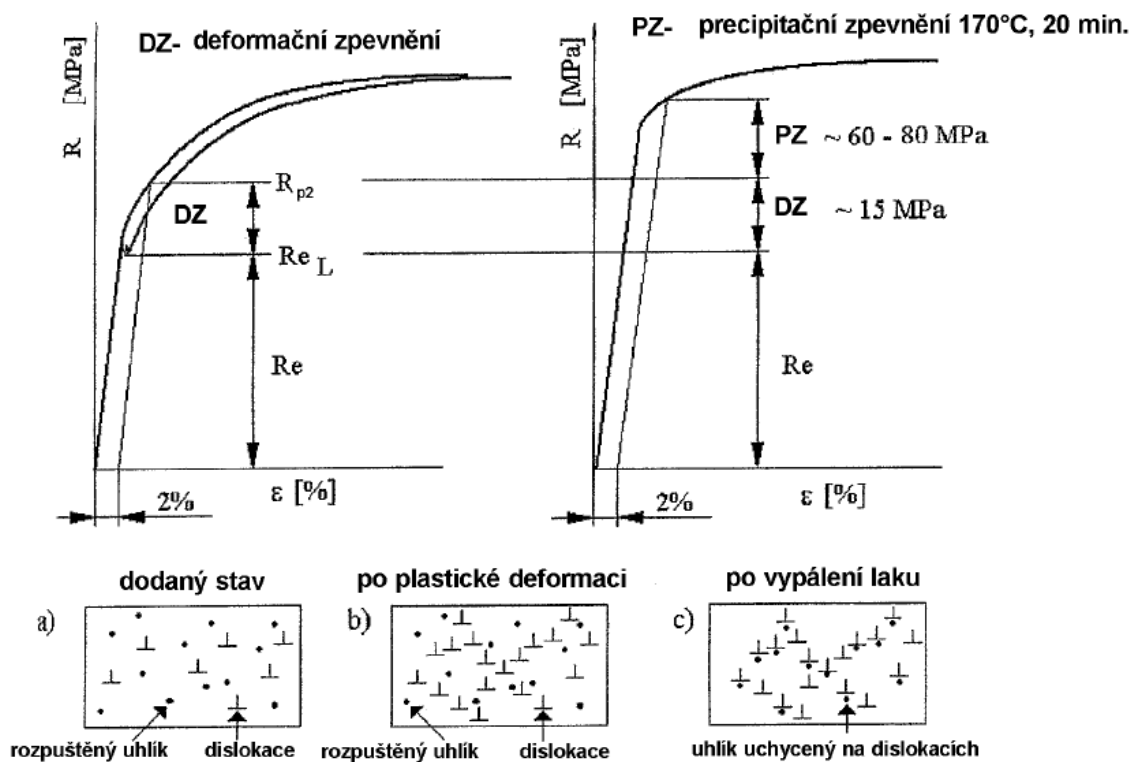
BH oceli jsou oceli, které získávají vyšší pevnost válcováním, později pak vypalováním laku při procesu umělého stárnutí tzv. BH efektu. Velkou výhodou těchto ocelí je vysoká tažnost při vlastním lisování. Mají nízkou mez kluzu, která se při vypalování laku zvyšuje o 40 – 80 %. Jejich mikrostruktura je tvořena feritem.

Princip BH efektu:

BH efektu (Bake Hardening Effect) se využívá především pro plechy na velkoplošné výlisky dílů karosérie (např. střecha, dveře, kapota), u kterých se zvyšuje po vylisování a vypálení laku maximálně dovolené zatížení, jako i odolnost vůči vtlačení. Hlavní výhodou BH plechů je nízká hodnota meze kluzu a vysoké parametry plastičnosti před lisováním. Proces zpevňování po lisování a vypalování laku souvisí s deformačním

stárnutím za tepla. Podstatou procesu umělého stárnutí je stabilizace dislokací vytvořených v průběhu lisování interstitickými atomy uhlíku a dusíku. Podmínkou pro BH proces je dostatečně vysoký podíl interstitických prvků.

Obr. č. 2: BH efekt



Zdroj: [3]

2.1.2.3 Fosforem legované oceli

Jedná se o mikrolegované oceli, které kromě ostatních legujících prvků obsahují vyšší procento fosforu. Fosfor způsobuje deformaci mřížky feritické struktury. Důsledkem toho je nárůst meze kluzu a meze pevnosti. Tyto oceli mají výbornou tažnost. Vyšší mez kluzu a mez pevnosti je také dosahována schopností legujících prvků (především fosforu) vytvořit směsný krystal. [4]

2.1.2.4 Mikrolegované oceli

Mikrolegované jsou oceli, jejichž vlastnosti jsou dosaženy přidáním malého množství slitinových prvků (Cr, Ni, Mo, N, V, Nb, Ti, Zr). Obsah uhlíku je velmi malý

a lze ho pro zlepšení svařitelnosti i houževnatosti redukovat. Zpevňující efekt niobu a vanadu kompenzuje úbytek pevnosti v důsledku úbytku uhlíku. Vysoké meze kluzu je dosaženo kombinací zjemnění zrna během řízeného válcování a precipitačním vytvrzením díky přítomnosti V, Nb a Ti.

2.1.3 Vysokopevnostní oceli

2.1.3.1 Vícefázové oceli

Vícefázové jsou oceli vyšší pevnosti, které mají ve struktuře alespoň dvě fáze, a to měkčí feritickou matici a tvrdší martenzitickou či bainitickou matici, které jsou posíleny o jemné precipitáty.

2.1.3.1.1 Dvoufázové oceli DP (Dual Phase Steels)

Dvoufázové jsou nízkouhlíkové oceli s tvárnější feritickou maticí (70 – 90 %) a tvrdou martenzitickou fází (5 – 20 %) v podobě ostrůvků. Feritická matrice je zpevněna manganem popř. křemíkem. Oceli dosahují pevnosti 200÷600 MPa. Jsou charakteristické izotropními vlastnostmi a mají ve spojení s BH efektem vysoké hodnoty zpevnění. [5]

2.1.3.1.2 Komplexně fázové oceli CP (Complex Phase Steels)

Jsou to nízkouhlíkové oceli, kde jsou obsaženy stejné legující prvky jako u ocelí dvoufázových či TRIP, navíc však obsahují malé množství niobu a titanu. Mikrostruktura je tvořena feritickou maticí se strukturními složky martenzitu a bainitu. Ocel vykazuje vysokou pevnost, která je větší jak 800 MPa, i deformační zpevnění. CP oceli se vyznačují též vysokou absorpcí energie. [4]

2.1.3.1.3 TRIP oceli (TRAnsformation Induced Plasticity) **- oceli s transformačně indukovanou plasticitou**

TRIP oceli jsou nízkouhlíkové vysokopevnostní oceli, které se používají pro redukci hmotnosti vozidla. Zpracováním ocelí s využitím efektu transformačně indukované plasticity (TRIP) lze dosáhnout výborné kombinace mechanických vlastností, tj. vysoké pevnosti (až 1200 MPa) a mimořádné plasticity (tažnost až 35 %). Podstatou tohoto jevu je stabilizace množství zbytkového austenitu při termomechanickém zpracování až do nízkých teplot a jeho následná přeměna na deformačně indukovaný martenzit v důsledku plastického přetvoření, provázena vysokou plasticitou materiálu. Stabilita zbytkového austenitu proti indukované martenzitické deformaci (SIMT) je hlavním faktorem ovlivňujícím plasticitu materiálu. Mikrostruktura TRIP oceli je tvořena matricí polygonálního feritu, perlitem, bainitem a významným množstvím zbytkového austenitu. [6]

2.1.3.1.4 Martenzitické oceli

Martenzitické jsou oceli, které v rámci vícefázových ocelí vykazují nejvyšší pevnost v tahu (1000 – 1700 MPa). Austenit téměř zcela transformuje na martenzit během ochlazování na transportní lince nebo v chladicí sekci žíhací linky. Struktura, která vzniká tepelným zpracováním po tváření, je tvořena martenzitickou matricí obsahující malé množství feritu nebo bainitu. Oceli bývají po ochlazení následně žíhány pro zvýšení jejich tažnosti. Dostatečná kalitelnost i pevnost vzniklého martenzitu je zaručena obsahem uhlíku kolem 0,2 % a dalších prvků (Mn, Si, Cr, Mo, B, V, Ni).

2.1.3.2 Kalené oceli

U těchto ocelí je při válcování za tepla nebo žíhání přítomen austenit, který je během prudkého ochlazení transformován téměř na martenzit. Tato struktura se může vytvořit také následnou tepelnou úpravou po tváření. Kalené oceli jsou také často označovány jako termomechanicky zpracované či martenzitické oceli a po zakalení se pro zlepšení houževnatosti popouští. [4]

2.1.3.2.1 Legované oceli

Jedná se o oceli, které jsou obohaceny o některý z legujících prvků zvyšující jeho pevnost např. bór, mangan apod. Od toho se pak odvíjejí oceli borové či mangan-borové, které se vyznačují svou měkkostí a tažností před tepelným zpracováním, které probíhá za teploty nad A_3 . Po tepelném zpracování pak mají vysokou pevnost a hotové produkty mají zcela martenzitickou strukturu. [4]

2.1.3.3 TWIP oceli (TWinning Induced Plasticity)

Tyto uhlíkové oceli obsahují vysoké procento manganu (17 – 24 %), který způsobuje, že ocel je plně austenitická při všech teplotách. Základním deformačním mechanismem této oceli je dvojčatění. Dolegovány jsou hliníkem a křemíkem. Vyznačují se extrémními hodnotami tažnosti (řádově až 80 – 100 %) a vysokou pevností (800 – 1000 MPa). Díky vysoké tažnosti těchto ocelí mají konečné produkty ještě možnost se deformovat bez porušení materiálu. Absorbují energii na vlastní přetvoření, což je důležité z hlediska bezpečnosti při nárazu automobilu.

Obr. č. 3: Materiálový koncept vozu Škoda Yeti



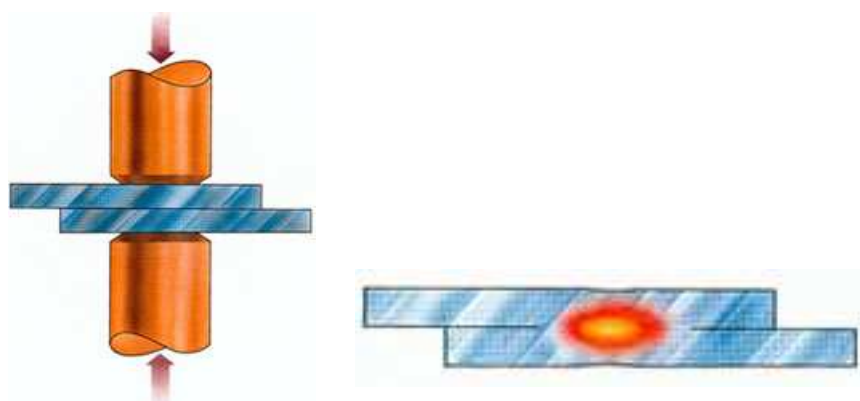
Zdroj: [21]

3 TECHNOLOGIE BODOVÉHO ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

3.1 PRINCIP BODOVÉHO ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Svařované díly jsou umístěny mezi elektrody, které jsou zapojeny do sekundárního obvodu svařovacího transformátoru. Svar vzniká v místě styku svařovaných materiálů, kde je nejvyšší teplota. Svařované plechy jsou v první fázi elektrodami stlačeny k dosažení dobrého kontaktu. Po zapnutí proudu se materiál pod elektrodami ohřeje vznikajícím teplem, které je závislé na velikosti proudu a lineárně na odporu. Materiál se nataví a vytváří se tekutá oblast, která tuhne ve formě čochky. Jakmile se dosáhne požadované velikosti natavené oblasti, vypne se proud a svar se ochlazuje za současného působení elektrod. Dochází tak k lisování za tepla, čímž se zlepší mechanické vlastnosti kovu ztuhlého jádra. [7]

Obr. č. 4: Princip bodového odporového svařování



Zdroj: [8]

3.2 METALURGIE BODOVÉHO SVARU

Pro technologii bodového svařování je charakteristický rychlý ohřev na teplotu tavení a následující rychlé ochlazení při současném působení tlaku elektrod. Jestliže se uspořádají svařovací podmínky tak, aby maximální odpor byl v místě styku svařovaných materiálů, postupuje tavení ve směru od této styčné plochy. Z roztaveného kovu se vytvoří oblast ve tvaru čochky, jejíž tloušťka musí být menší než je součet tloušťek svařovaných materiálů. Dosedající chladné měděné elektrody podporují

odvod tepla z povrchu materiálu a brání úplnému protavení. Současně zabraňují případnému vystříknutí expandujícího roztaveného kovu a plynů ven ze svaru. Svar tedy vzniká jakoby v dutině ohraničené nataveným materiálem s omezeným přístupem vzduchu.

U austenitických ocelí, kde se nevyskytují body přeměny, nenastává v základním materiálu žádná přeměna. Kolem bodového svaru se vytváří segreganční pásmo jako důsledek difúze prvků z roztaveného pásma do základního materiálu. Odporové svařování má obvykle menší spotřebu tepla na vytvoření svaru, proto je i tepelně ovlivněná oblast menší. Z plynů, které mohou reagovat se svarovou lázní, přichází v úvahu jen vzdušný kyslík popř. v menší míře i dusík.

Rychlosti ohřevu i chladnutí jsou vysoké. Rychlost procesu neposkytuje čas k vytvoření výraznější dendritické segregace, tudíž je chemické složení v jednotlivých místech svaru téměř stejné. V důsledku vysoké rychlosti ochlazování vzrůstá pravděpodobnost přeměny austenitu na martenzit. Austenit, který vznikne při rychlém ohřevu, má nerovnoměrné složení, neboť difúze uhlíku proběhne jen částečně nebo ji potlačí rychlost svařovacího procesu. Rychlé tepelné cykly při odporovém ohřevu nemusí nepříznivě působit na mechanické vlastnosti svarového spoje. Někdy se dokonce rychlými tepelnými cykly dosáhne lepších vlastností než běžným tepelným zpracováním.

Po vypnutí svařovacího proudu stlačují svar po určitou dobu kovací silou elektrody, které tím potlačují možnost vzniku staženin, které se tvoří při chladnutí jádra svaru v důsledku smršťování svarového kovu.

Za kritickou oblast bodového svaru je považováno okolí nejbližší ke svarové čočce. Jedním z důvodů je oduhličení okolí svaru až na ferit, kde uhlík difunduje směrem od jádra. Při vyšších rychlostech svařování se tento jev projevuje méně, proto je vhodnější použít technologii tvrdého režimu, tj. krátký svařovací čas, vysoký svařovací proud a vysoká přitlačná síla. [9]

3.3 SVAŘOVÁNÍ POZINKOVANÝCH PLECHŮ

V automobilovém průmyslu se používají převážně plechy se zinkovým povlakem, které chrání povrch proti korozi. Při svařování těchto plechů mohou nastat i komplikace. Části vozu, které mají být odolné vůči korozi, mohou být svařeny rovnou z pozinkovaných plechů, nebo se svaří z plechů bez zinkového povlaku a následně projdou galvanizací s daným ponorem. Ponor určuje výšku zinkové vrstvy. Zinkový povlak nemá konstantní tloušťku a velikost odporu se mění svar od svaru. Je velmi obtížné nastavit přesné podmínky svařovacích parametrů pro daný materiál. Bod tání zinku je nižší, než bod tání ocelového plechu, proto dojde k vypaření zinkového povlaku. Jestliže bodový svar vznikne v době vypařování zinku, je vlivem par pórovitý a tím klesá jeho pevnost ve stříhu.

Vypařující se povlak zinku má tendenci špinit konce elektrod. Znečištěné konce by měly být čištěny velmi často, neboť dochází ke změnám elektrické a tepelné vodivosti elektrod a jejich mechanickému opotřebování. Doporučená frekvence očištění konců elektrod je každý pátý svar. K zajištění vyhovující kvality bodových svarů a ustálení svařovacích podmínek je dobré provést několik předsvarů. Interval se pohybuje v rozmezí 30 – 60 svarových bodů. [10]

Velikost špičky elektrody je důležitá vzhledem k tomu, že určuje velikost bodu svaru. Průměr špičky elektrody by měl být o trochu větší, než průměr svarové čocky. Jestliže je průměr špičky elektrody příliš malý, bude svarový bod malý a slabý. Bude-li špička elektrody neúměrně velká k tloušťce plechu, dojde k velkému natavení materiálu. Tento svar je hodnocen jako nepřijatelný. Stanovení průměru špičky elektrody se odvíjí od vlastního odporu materiálu, který je na výrobu elektrody použit. [10]

Vzorec pro výpočet průměru špiček elektrod při svařování plechu z nízkouhlíkové oceli je následující:

$$D = 2,54 + 2t_L$$

kde

D průměr elektrody [mm];

t_L tloušťka plechu [mm].

4 KONTROLA BODOVÝCH SVARŮ

Jednou z priorit, bez které se kvalita součástí svařených odporovým bodovým svařováním neobejde, je jejich kontrola kvality. Tato technologie svařování je charakteristická pro velkosériovou výrobu, u které se vyžaduje kontrola přímo při výrobním procesu.

Zkoušky svarů rozdělujeme podle vlivu, který mají na svarový spoj:

- destruktivní (dochází k porušení svaru, např. jeho rozlomením);
- nedestruktivní (nedochází k porušení svaru).

- Destruktivní:

- zkouška odlupovací;
- křížová zkouška tahem;
- zkouška stříhem;
- zkouška sekáčová;
- zkouška krutem;
- zkouška metalografická.

- Nedestruktivní:

- zkouška vizuální;
- zkouška ultrazvukem;
- zkouška magnetická prášková;
- zkouška radiografickou metodou (prozařováním).

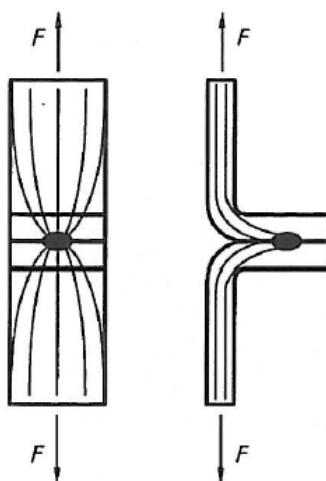
4.1 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY BODOVÝCH SVARŮ

Destruktivními metodami zkoušení bodových svarů se zabývá norma ČSN EN ISO 14329 Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Norma stanovuje definice geometrických měření a typy lomů, které jsou používány v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů, u kterých jsou rozdílné zátěžové konfigurace příčinou rozdílného rozložení napětí ve svaru. [11]

4.1.1 Zkouška odlupovací

Touto zkouškou se zjišťuje, zda provedený svar odpovídá daným požadavkům, které jsou na něho kladeny v provozu. Zvláště nebezpečné jsou studené spoje. Zkušební díly se zatěžují silou, která nejvíce odpovídá provozním podmínkám. Zkouška se provádí vždy, jestliže se svařovaly oceli s ochranným povrchovým povlakem. Zkoušku popisuje norma ČSN EN ISO 14270. Po provedení zkoušky se měří rozměr svarové čočky. Účelem mechanizovaného odlupovacího zkoušení je stanovení síly pro odloupnutí, kterou může zkušební vzorek vydržet. [12]

Obr. č. 5: Rozložení napětí v závislosti na směru zkušebního zatížení

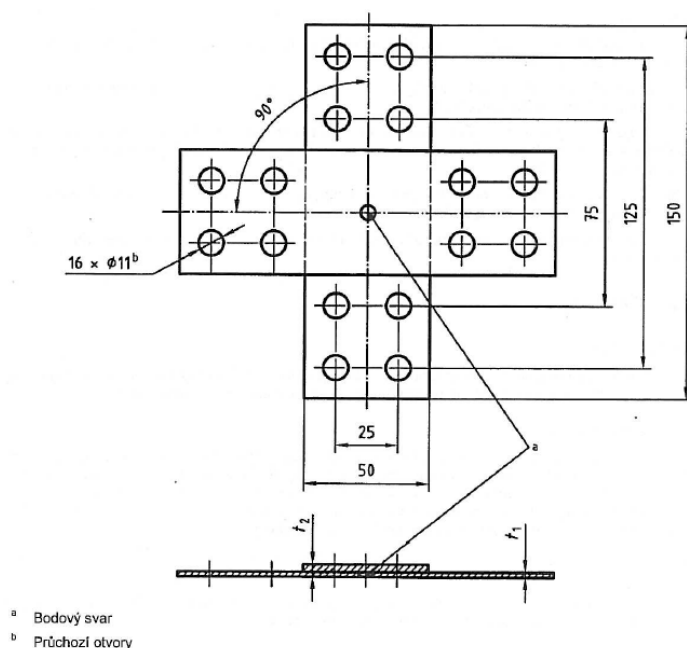


Zdroj: [13]

4.1.2 Křížová zkouška tahem

Je to únavová zkouška, která slouží ke zjištění tahové síly, kterou může zkušební vzorek vydržet. Ten je upevněn mezi čelisti únavového zkušebního stroje a vystaven opakovanému tahovému namáhání. Křížovou zkoušku na únavu v tahu předepisuje norma ČSN EN ISO 14272, Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů. Norma stanovuje rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů u přeplátovaných plechů z jakýchkoliv kovových materiálů tloušťky od 0,5 do 3 mm, kde svary mají maximální průměr $7\sqrt{t}$ (kde t je tloušťka plechu v mm). [12]

Obr. č. 6: Tvar zkušební vzorku pro křížovou zkoušku na únavu v tahu

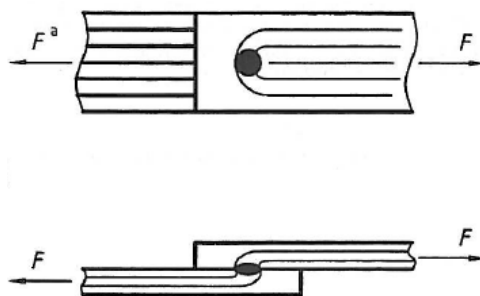


Zdroj: [14]

4.1.3 Zkouška stříhem

U této zkoušky je podobně jako u křížové zkoušky zkušební vzorek upnut mezi čelisti únavového stroje a vystaven opakovanému stříhovému namáhání rovnoběžného s rovinou spojení plechů v místě bodového svaru. Zkouška platí pro přeplátované spoje kovových materiálů tloušťky 0,5 až 10 mm a maximální rozměr svaru $7\sqrt{t}$ (t – tloušťka materiálu v mm). Zkouška stříhem je popsána normou ČSN EN ISO 14273:2000, Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Účelem zkoušení stříhem je stanovení stříhové síly, kterou může zkušební vzorek vydržet. [12]

Obr. č. 7: Rozložení napětí v závislosti na směru zkušebního zatížení



Zdroj: [13]

4.1.4 Zkouška sekáčová

K vykonání této zkoušky je potřeba speciálního nástroje – sekáče, který se zasune mezi dva svařené plechy a po vykonání potřebné síly dojde k deformaci bodového svaru. Deformace se projeví zlomením plechu v okolí svaru nebo vytržením bodového svaru ze základního materiálu. Sekáčovou zkoušku předepisuje norma ČSN EN ISO 10447, Svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení bodových, výstupkových a švových svarů. Norma stanovuje postup a doporučené nářadí pro odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů. Používá se pro svary provedené na dvou nebo více tenkých plechách s tloušťkou v rozsahu od 0,5 do 3 mm. Účelem této zkoušky je stanovit rozměr svaru a typ jeho porušení. Aplikace této metody je limitována, protože neposkytuje spolehlivé výsledky pro třívrstvé díly a pro materiály s povrchovou úpravou a nemůže být používána pro již lakované díly. Tato metoda je časově náročná a testovaný díl vyžaduje přepracování nebo musí být zcela vyřazen. [12, 16]

4.1.5 Zkouška krutem

Zkouška krutem slouží k určení vlivu různých typů oceli, parametrů svařování a jiných činitelů na deformační charakteristiky bodového svaru. Z porušených vzorků umožňuje tato zkouška stanovit průměr svaru a typ jeho porušení. Navíc může být stanoven maximální krouticí moment a odpovídající úhel zkroucení. Zkouška je určena pro bodově svařené zkušební vzorky z ocelových plechů tloušťky od 0,5 do 3 mm a za určitých okolností i pro neželezné materiály. Zkoušku stanovuje norma ČSN EN ISO 17653. [12]

4.1.6 Zkouška metalografická

Metalografickou zkouškou zjišťujeme makro a mikrostrukturu svarového spoje. Řezacím nástrojem, který je vyosen o polovinu své šířky od osy svaru, odebereme vzorek, který se dále brousí, leští a nakonec pro zviditelnění struktury i leptá. Z výbrusu se pomocí mikroskopu zjistí, zda-li svar neobsahuje některé z typických vad (trhliny, vměstky, studený spoj) a zároveň se změří průměr svarové čocky. Metalografická zkouška se zkouší dle normy ČSN EN ISO 1321, Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů.

4.2 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY BODOVÝCH SVARŮ (NDT)

4.2.1 Vizuální zkouška VT (Visual Testing)

Vizuální zkouška slouží pro kontrolu povrchových vad svaru. Je levná, ale přesto velmi účinná. Základem jsou znalosti pracovníka, který provádí kontrolu o problematice kontrolovaného objektu, o předpokládaných typech vad a jejich možných polohách, zraková způsobilost a v neposlední řadě podmínka dostatečného osvětlení zkoušeného povrchu. Vizuální kontrolou lze zjišťovat jak stav výrobku po jeho dohotovení (neprovařený kořen, vady v napojení, nadměrné převýšení svaru), tak případné změny stavu vyvolané provozem (mechanické poškození, trhliny, koroze). Metoda je založena na zjišťování světelného nebo barevného kontrastu v místě vady.

Dělí se dle způsobu pozorování na kontrolu:

- přímou;
 - nepřímou.
- **Přímá metoda** spočívá v pozorování povrchu okem, popřípadě lupou. Lze ji aplikovat na přístupných površích. Předpokladem je dostatečné osvětlení (500 – 1000 lux). Zjištěné vady lze měřit speciálními měrkami nebo běžnými rozměrovými měřidly.

Obr. č. 8: Kufřík svářečského kontrolora



Zdroj: [17]

- **Nepřímá metoda** slouží ke kontrolám nepřístupných povrchů za pomoci endoskopů, kamer apod. Ohebné endoskopy bývají vybaveny možností dálkového ovládání pohybu koncové části pro snadnější zavádění a usnadnění pozorování.

4.2.2 Zkouška ultrazvukem UT (Ultrasonic Testing)

Zkouška ultrazvukem je jedna ze základních metod nedestruktivního zkoušení. Umožňuje zjistit přítomnost vnitřních vad materiálu i ve velké hloubce pod povrchem. Uplatňuje se při kontrole svarů (hlavně svarů tlustých materiálů, přístupných jen z jedné strany), odlitků, ale i tvářených polotovarů (tyče, výkovky, plechy, atd.). Velkou výhodou této metody je možnost automatizace procesu kontroly, především u polotovarů jednoduchého tvaru (tyče, trubky, plechy), okamžité zobrazení výsledků a její velký dosah (největší z nedestruktivních metod). Kromě vnitřních vad (trhliny, dutiny, bubliny apod.) lze zjišťovat i vady povrchové.

Princip ultrazvukové metody spočívá v tom, že pevné materiály (kovové i nekovové) jsou dobrými vodiči zvukových vln. Ultrazvukové vlny vyslané do materiálu se odrážejí od každého rozhraní, a tedy i od vnitřních vad (nehomogenit). Na obrazovce indikačního zařízení se zobrazí jako tzv. poruchové echo. Čím vyšší je frekvence vlnění, tím menší vady je možno detekovat. Pro zkoušení se využívají frekvence od 0,5 MHz do 25 MHz. Zkouška se řídí normou ČSN EN ISO 1713, Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení ultrazvukem – Posouzení charakteru indikací ve svarech.

Používají se dvě základní metody zkoušení ultrazvukem:

- metoda průchodová;
 - metoda odrazová impulzová.
- **Metoda průchodová** – základem metody je měření hodnoty ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Pracuje se dvěma ultrazvukovými sondami, které se umísťují vždy souose na protilehlých površích vyšetřovaného materiálu, z nichž jedna pracuje jako vysílač a druhá jako přijímač ultrazvukové energie. Je-li v místě přiložení sond vada, tvoří se za vadou akustický stín a do přijímací sondy

přichází menší hodnota energie. Metoda je vhodná pro zkoušení výrobků přístupných z obou stran s rovnoběžnými povrchy a s menší tloušťkou (plechy). [18]

- **Metoda odrazová impulzová** – je nejrozšířenější metodou, která je založena na pulzní činnosti. Do kontrolovaného předmětu se vysílají krátké ultrazvukové impulzy, které se odrážejí od protilehlého povrchu předmětu a jeho vnitřních vad. Po odrazu v materiálu se ultrazvukové vlny vrátí buď na tentýž, nebo na druhý měnič (sondu), který pracuje jako přijímač. Časový průběh je zobrazován na stínítku obrazovky. V okamžiku vysílání ultrazvukového impulzu se objeví na obrazovce počáteční impulz. Za dobu odpovídající dvojnásobné vzdálenosti od sondy se objeví na stínítku impulz vadový a za ním následuje koncový, odražený od protilehlé strany zkoušeného předmětu. Tato metoda je velmi citlivá. Výhodou je, že při zkoušení stačí přístupnost z jedné strany. [18]

Obr. č. 9: Automatizovaný systém CYCLOPS pro kontrolu bodových svarů



Zdroj: [17]

4.2.3 Zkouška magnetickou práškovou metodou MT (Magnetic Particle Testing)

Tato zkouška je nejpoužívanější metodou nedestruktivního zkoušení materiálu. Vzhledem ke své relativní jednoduchosti a nenáročnosti na provádění je jednou z nejdůležitějších metod i při servisu provozovaných zařízení. Touto metodou jsou zjišťovány povrchové a podpovrchové vady (trhliny, praskliny, póry, vměstky apod.)

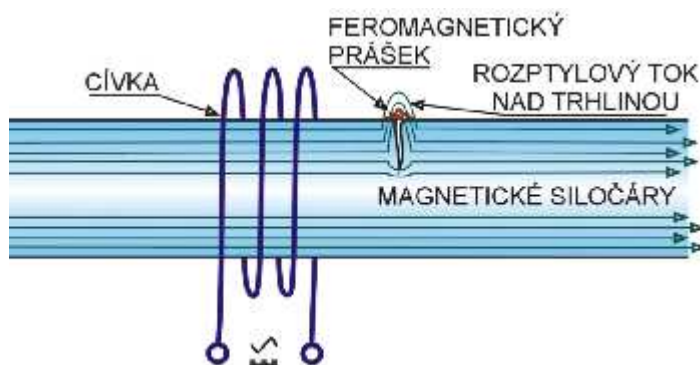
feromagnetických materiálů (Fe). Pro jiné materiály než feromagnetické nelze metodu použít.

Princip je takový, že, vhodným zmagnetováním feromagnetického materiálu dojde k jeho magnetickému nasycení. Případná vada v materiálu má jiné magnetické vlastnosti - většinou bývá nemagnetická (vzduch v trhlině, struska, plyn v póru). V místě vady dochází k deformaci magnetického pole, jeho siločáry vystupují nad povrch. Vzniká tzv. rozptylový magnetický tok, který je nositelem informace o místní změně magnetických vlastností. Na povrch materiálu se nanáší jemný feromagnetický prášek, jenž se magneticky přichytí na povrch, avšak pouze v místě rozptylového toku. Prášek na povrchu vytváří indikaci, zobrazující reliéf rozptylového toku způsobeného vadou. Indikace se hodnotí na základě vizuálního vjemu barevného nebo jasového kontrastu. Detekční schopnost metody začíná při šířce vady jednotek tisícín milimetru. [17]

Pro vytvoření magnetického pole je třeba zkoušený předmět zmagnetovat tak, aby směr magnetického pole byl orientován kolmo na předpokládanou necelistvost. Používají se jednoduché magnetizační přístroje umožňující magnetování buď pólové (součást se vkládá mezi dva póly magnetu) nebo proudové (zkoušenou součástí prochází střídavý nebo stejnosměrný proud a využívá se jeho magnetického účinku).

Detekční prášky se vyrábějí z feromagnetického materiálu (oxidy železa, čisté železo). Prášky se používají buď barevné (v původní barvě šedé, červené, černé) nebo fluorescenční (opatřené luminoforem, který světélkuje při ultrafialovém světle). U svarů s austenitickými oblastmi se musí počítat s výskytem nepravých indikací na rozhraní mezi feromagnetickým a nemagnetickým materiálem, stejně tak ke vzniku nepravých indikací dochází, když je zmagnetizovaný materiál poškrábáný. V těchto případech se musí použít jiných metod hodnocení svarů. Výhodou této zkoušky je rychlost, malé náklady na zařízení, snadná obsluha a schopnost odhalit i podpovrchové vady. Nevýhodou je práce se špinavou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudem, obtížná zjistitelnost malých a oblých vad a také obtížný záznam výsledku zkoušky. [19]

Obr. č. 10: Princip nalezení vady na feromagnetickém materiálu

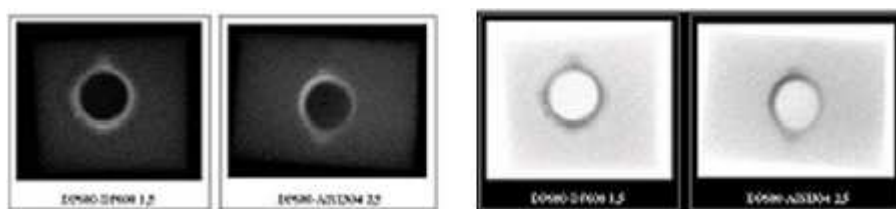


Zdroj: [17]

4.2.4 Zkouška radiografickou metodou RT (Radiographic Testing)

Používá se ke zjištění vnitřní nehomogenity ve výrobcích. Využívá rozdílného zeslabení rentgenového nebo gama záření při průchodu materiálem v místě vady oproti oblasti bez vady. Rozdíl intenzity prošlého záření se zachycuje vhodným způsobem, např. na film, kde vyvolá jeho rozdílné zčernání. Obraz vady na filmu se dále vyhodnocuje na základě jeho tvaru, velikosti a zčernání. Zkouškou prozářením lze obecně nejlépe zjistit vady, které jsou orientovány ve směru osového svazku zdroje záření (např. vady ve svazech vzniklé ve výrobě i provozu, vady v odlitcích atd.).

Obr. č. 11: Kontrola bodového svaru prozářením (positiv-negativ)



Zdroj: [20]

Ve zvláštních případech bývá vhodné použít některou z modifikací radiografie:

- **Radioskopie RS (Radioscopic Testing)**

Radioskopie používá pro převod neviditelného profilu ionizujícího záření na viditelný obraz zesilovač obrazu (elektronooptický převaděč). Fotony RTG záření

dopadají na vstupní stínítko pokryté vrstvou luminoforu (krystalickou sloučeninou, která má schopnost měnit dopadající částice s vysokou energií na fotony viditelného záření). Vstupní stínítko je v těsném spojení s fotokatodou. Působením světelných fotonů jsou z fotokatomy emitovány elektrony. Ty jsou dále urychlovány vysokým napětím anody a dopadají na výstupní stínítko. Výstupní stínítko je opět pokryto luminoforem a vyzařuje světelné fotony. Obraz lze elektromagneticky zaostřovat.

Zesílení jasu spočívá ve vysokém urychlovacím napětí, ale také v tom, že jasová informace na vstupním stínítku (obvykle kruhového průměru cca 20 cm) je převedena na výstupní stínítko daleko menší plochy (opět kruhového průměru cca 2 cm). Tím dojde k zesílení (zhuštění) jasové informace, a tudíž ke zvýšení její intenzity.

Původní fotony RTG záření procházejí celým zařízením. Je výhodné svazek světla před dalším zpracováním odklonit z původní dráhy a chránit tak další členy radioskopického řetězce před zářením. Svazek fotonů viditelného světla vstupuje do optické soustavy přes hranol odkloněn o 90°. Dále dopadá na vstupní člen snímací kamery a obraz je převáděn na videosignál.

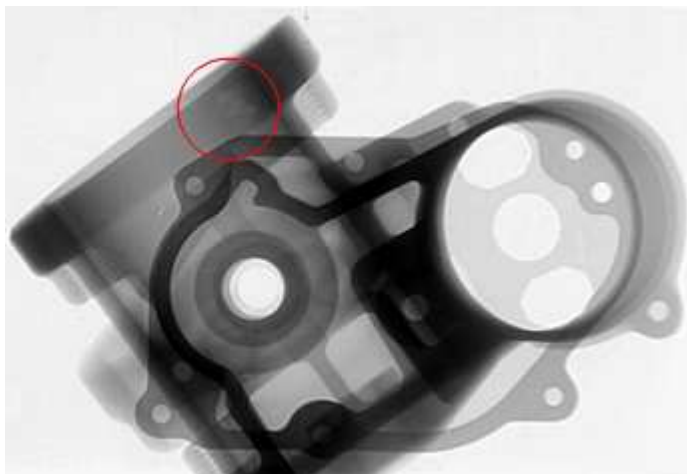
Převodní charakteristika (charakteristická křivka) zesilovačů obrazu je stejně jako u digitálních radiografických systémů lineární, ale na rozdíl od nich je zde výrazná oblast saturace. [17]

- **Počítačová radiografie CR (Computer Radiographic)
a digitální radiografie DR (Digital Radiographic)**

Digitální radiografie a počítačová radiografie jsou odnože klasické radiografické metody, které používají nefilmové detektory záření. Nahrazují některé prvky systému klasické radiografie moderní technikou, a tak umožňuje výhodnější zpracování radiografického obrazu pomocí výpočetní techniky. Umožňují (stejně, jako klasická filmová radiografie) získat obraz vnitřních vad. Možnosti aplikací metod DR a CR mnohdy přesahují možnosti klasické radiografie. Díky velké expoziční šířce se metody velmi dobře hodí pro kontrolu tvarově velmi složitých odlitků. Významný potenciál je také

v oblasti měření koroze. Vzhledem k prokázaným časovým úsporám a nižším provozním nákladům mají tyto modifikace radiografie velkou perspektivu. [17]

Obr. č. 12: Vada v odlitku určená metodou digitální radiografie



Zdroj: [17]

5 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY

5.1 POUŽITÝ MATERIÁL

Při experimentálních zkouškách byly použity vzorky ze dvou ocelí, které se používají v automobilovém průmyslu. Jedná se o mikrolegovanou ocel vyšší pevnosti H220PD s feriticko-perlitickou strukturou legovanou fosforem a IF ocel vyšší pevnosti DX56D+Z s čistě feritickou strukturou. Ocelové plechy z těchto ocelí jsou žárově pozinkovány.

Vzorky byly zhotoveny z plechu tloušťky 0,8 mm (u obou ocelí) a tloušťky 1,5 mm (u oceli DX56D+Z). Chemické složení a mechanické hodnoty obou ocelí, které zaručuje výrobce pod danou normou, jsou uvedeny v tabulce č. 1 a 2.

Tabulka č. 1: Chemické složení oceli DX56D+Z a H220PD (v hm %)

název oceli	dle normy	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
DX56D+Z	EN 10327:2004	0,12	0,50	0,60	0,1	0,045	-	0,30
H220PD	EN 10292:2000	0,06	0,50	0,70	0,08	0,025	0,02	-

Zdroj: [21]

Tabulka č. 2: Mechanické hodnoty oceli DX56D+Z a H220PD

název oceli	dle normy	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%]	r _{90 min.}	n _{90 min.}
DX56D+Z	EN 10327:2004	120-180	260-350	39	1,9	0,21
H220PD	EN 10292:2000	220-280	340-400	32	1,3	0,15

Zdroj: [21]

5.2 TAHOVÁ ZKOUŠKA SMYKEM

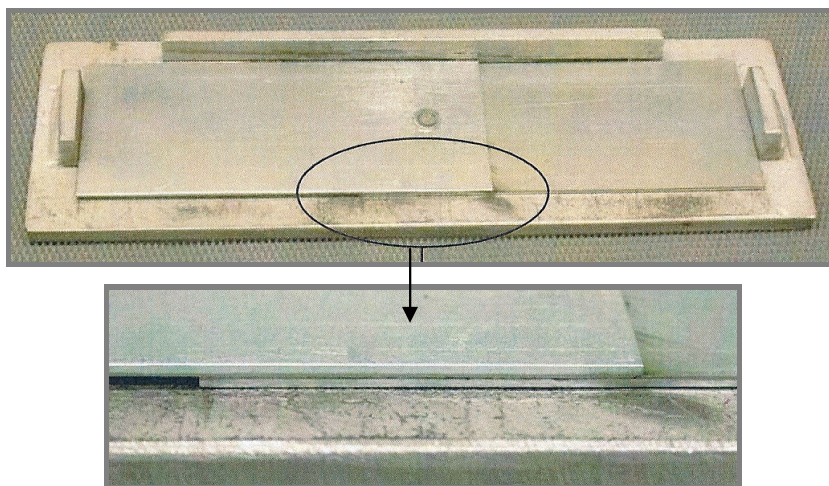
Cílem této zkoušky bylo zjistit únosnost bodového svaru přeplátovaných ocelových plechů stejné tloušťky a stejného materiálu pomocí tahové zkoušky smykem. Vzorky, které se použily k této zkoušce, byly ze stejných materiálů (ocelí) a stejných

tloušťek jako vzorky (kalíšky) použité k ultrazvukovému a metalografickému vyhodnocení. Zkouška však proběhla mnohem dříve, než byla sepsána tato práce, a proto se informace o procesu svařování nepodařily dochovat. Výsledky této zkoušky berme jako informativní.

5.2.1 Příprava vzorků

Vzorky byly zhotoveny z plechu tloušťky 0,8 a 1,5 mm oceli DX56D+Z a H220PD tloušťky 0,8 mm dle normy DIN EN 10002-2 a to kolmo na směr válcování (z důvodu horších mechanických vlastností v tomto směru). Nařezány byly na rozměr 105 x 45 mm, dále pak přeplátovány a svařeny v přípravku ruční bodovou svářečkou. Délka přeplátování byla 35 mm. Průměr použitých elektrod byl zvolen dle tloušťek svařovaných plechů.

Obr. č. 13: Detail přeplátovaných plechů založených v přípravku



Zdroj: vlastní

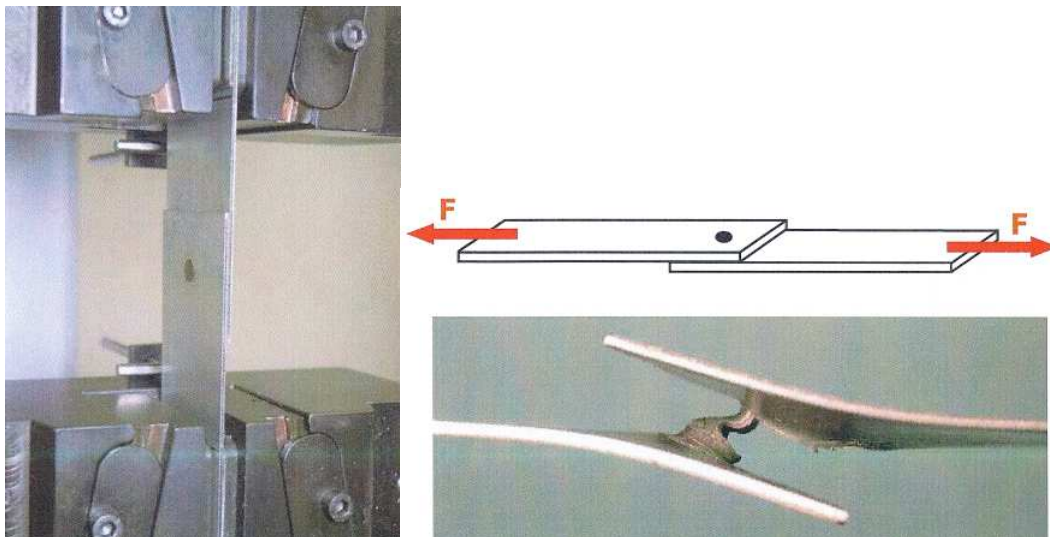
5.2.2 Provedení tahové zkoušky smykem

Namáhání ve smyku bodových odporových svarů nejvíce odpovídá jejich reálnému zatížení. Smyková tažná síla použitá na bodový svar vytváří moment ohybu, který roste se zvyšujícím se namáháním až do porušení svaru.

Zkouška byla provedena na univerzálním trhacím stroji Zwick-Roell Z100 dle normy DIN EN 10002-2, Kovové materiály - Zkouška tahem - Ověřování měřícího

systemu síly trhačích strojů. Vzorky byly upnuty do čelistí stroje a zatěžovány tahovou silou rychlostí 200 mm/min. Požadavkem byla co možná nejvyšší rychlost zatěžování z důvodu maximálního přiblížení reálných podmínek při skutečném nárazu. Tento požadavek byl ovšem limitován technickými parametry stroje. Kritériem hodnocení zkoušky byla smyková síla potřebná k destrukci bodového spoje.

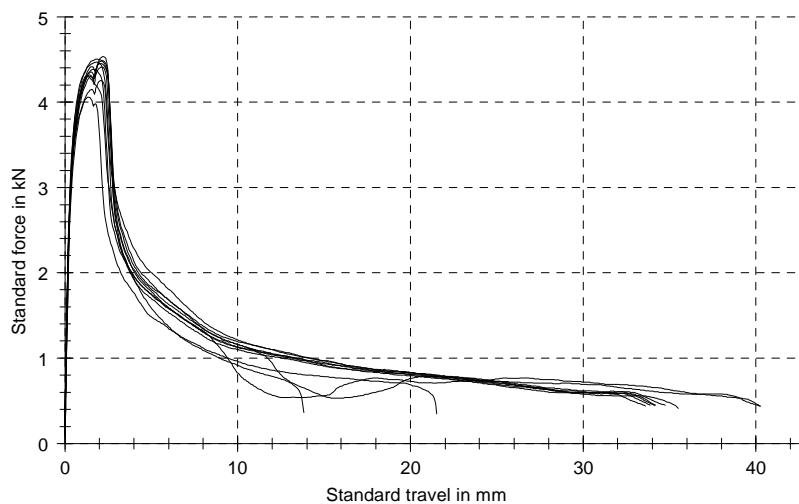
Obr. č. 14: Založení zkušební vzorku do čelistí a deformace zkušební vzorku



Zdroj: vlastní

Z každé série bylo vyhotoveno 10 vzorků, které byly podrobeny tahové zkoušce smykem. Výsledky zkoušky byly vyhodnoceny v programu TestExpert firmy Zwick a jsou uvedeny v následujících grafech. U všech vzorků došlo k odtržení svarové čochky od základního materiálu.

Graf č. 1: Diagram tahové zkoušky smykem svařených vzorků oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm



Zdroj: vlastní

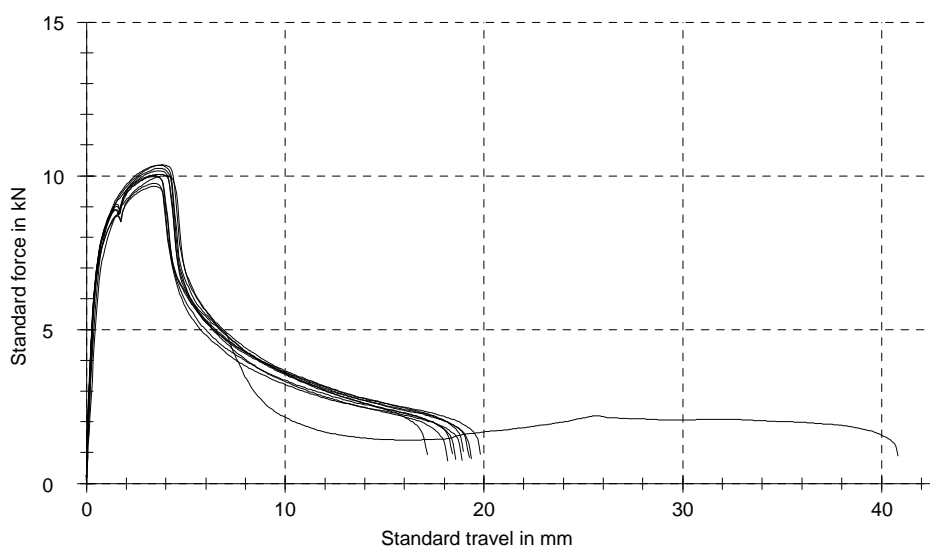
Tabulka č. 3: Naměřené hodnoty svařených vzorků oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená smyková síla [kN]	4,45	4,48	4,53	4,06	4,41	4,25	4,31	4,50	4,47	4,38
Jakost svaru	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ tavný spoj, - studený spoj

Zdroj: vlastní

Graf č. 2: Diagram tahové zkoušky smykem svařených vzorků oceli DX56D+Z tl. 1,5 mm



Zdroj: vlastní

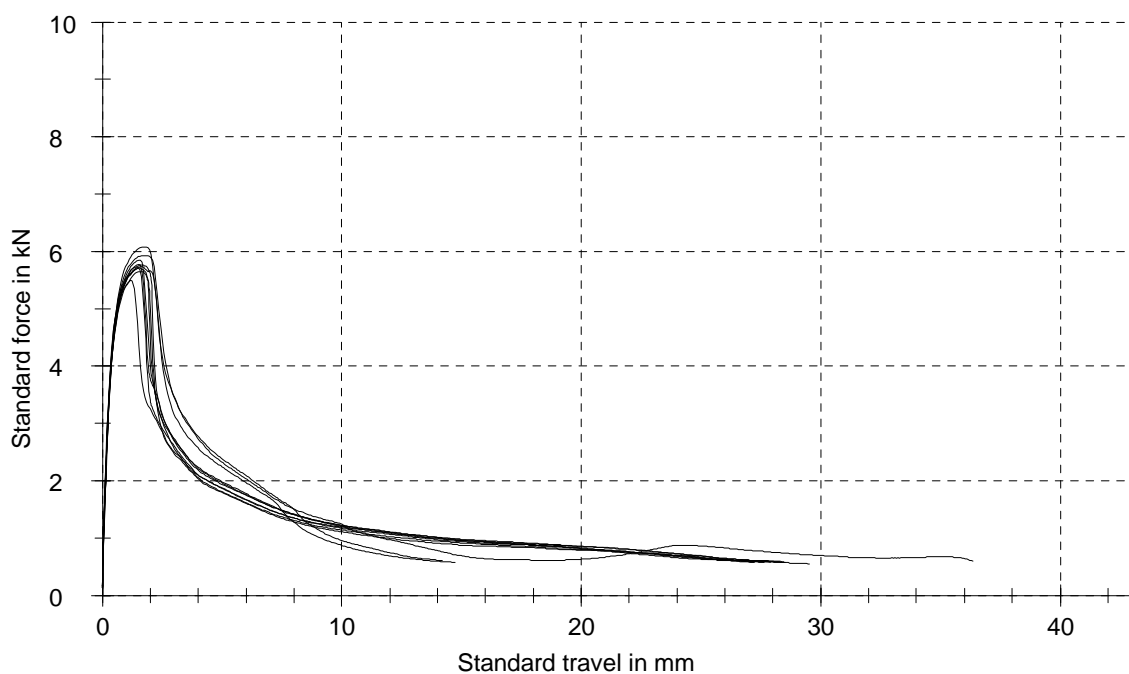
Tabulka č. 4: Naměřené hodnoty svařených vzorků oceli DX56D+Z tl. 1,5 mm

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená smyková síla [kN]	10,16	9,65	10,05	10,24	9,74	9,98	10,01	10,34	10	10,36
Jakost svaru	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ tavný spoj, - studený spoj

Zdroj: vlastní

Graf č. 3: Diagram tahové zkoušky smykem svařených vzorků oceli H220PD tl. 0,8 mm



Zdroj: vlastní

Tabulka č. 5: Naměřené hodnoty svařených vzorků oceli H220PD tl. 0,8 mm

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená smyková síla [kN]	5,76	5,71	5,77	5,73	5,7	5,65	5,49	6,07	5,84	5,93
Jakost svaru	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ tavný spoj, - studený spoj

Zdroj: vlastní

V provozu automobilového závodu však není na náročnou přípravu vzorků pro laboratorní tahové zkoušky dostatek času. Jako ekvivalent max. smykové síly je brán průměr bodového svaru d_p . Závislost těchto dvou parametrů je přímo úměrná. Čím větší je průměr svarového bodu, tím větší je potřeba síla k jeho porušení. Průměr bodového svaru lze určit pomocí sekáčové zkoušky. Posuvným měřítkem se změří hodnota bodového svaru jako aritmetický průměr dvou naměřených hodnot ve směru na sebe kolmém.

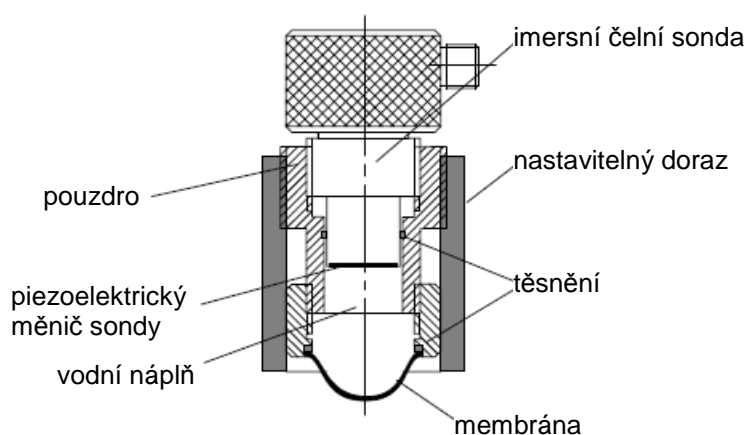
5.3 NDT METODA – ZKOUŠKA ULTRAZVUKEM (UT)

Zkoušení pomocí této metody vyžaduje zručnost a praxi obsluhy. Nesprávné držení sondy na začátku znehodnotí celé měření. Kvalita bodového svaru není daná jenom přítomností vady ve svarové čočce, ale i rozměrem a strukturou. Výsledkem měření není jen rozdělení svarů na vyhovující a nevyhovující, ale u nevyhovujících je třeba určit, jestli jde o svar s malým průměrem čočky, tzv. studený nebo slepený spoj nebo spoj s vadou, případně spálený svar.

5.3.1 Princip zkoušení bodových svarů ultrazvukem

Bodové svary se dnes zkouší výlučně odrazovou metodou, čelní sondou s vodní nebo plexisklovou předsádkou.

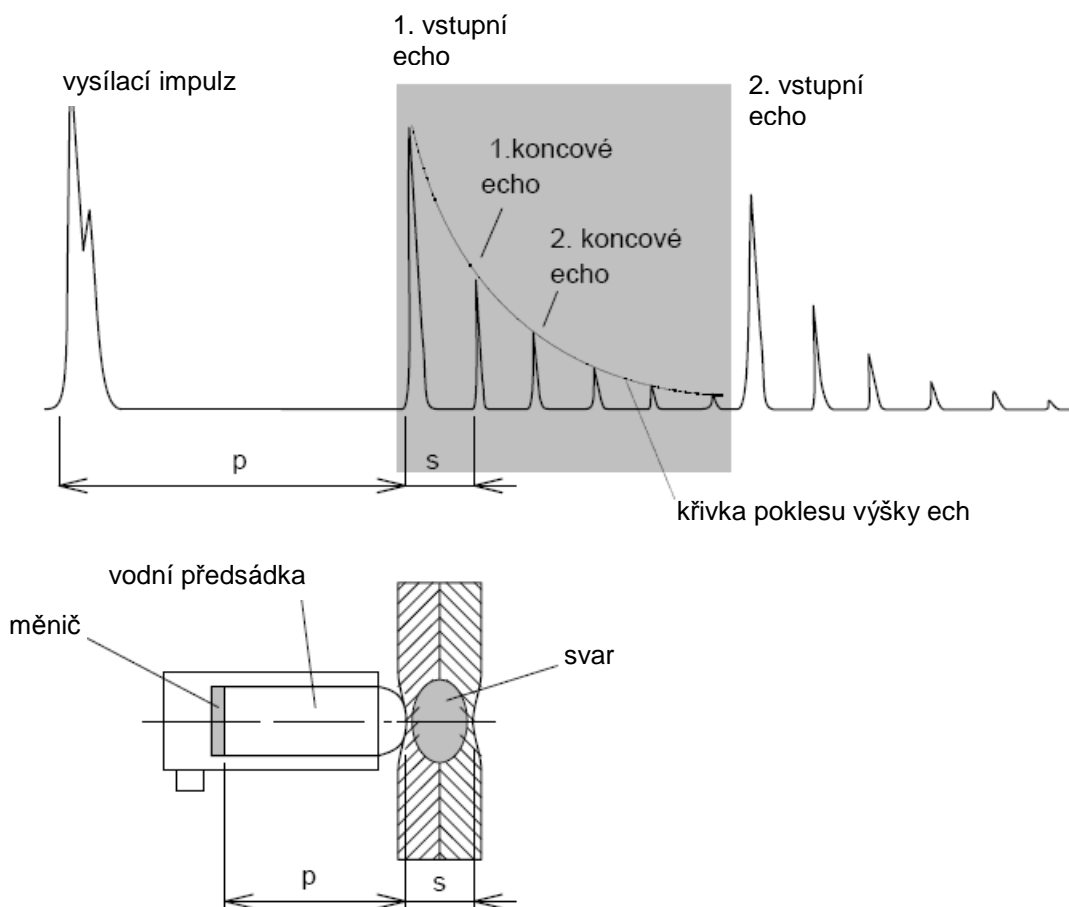
Obr. č. 15: Sonda na zkoušení bodových svarů



Zdroj: [22]

Názorný princip je uvažován pro dva svařené plechy. Ultrazvukový impulz z měniče po překonání dráhy „p“ v předsádce vstupuje do materiálu, přičemž se částečně odrazí od rozhraní předsádka – materiál a po dopadu na měnič vytvoří tzv. vstupní echo. Částečně zeslabený impulz dále putuje materiálem, dokud nenarazí na překážku, kterou je v případě bezchybného svaru až protilehlý povrch druhého plechu. Tady se odrazí a vrací zpět směrem k měniči. Projde svarem na rozhraní materiál – předsádka. Jedna jeho část projde do předsádky a potom na měnič, kde vytvoří tzv. první koncové echo. Druhá část se však znovu odrazí a putuje opačným směrem tj. znovu do svaru, po překonání kterého se znovu odrazí na protilehlém povrchu druhého plechu a putuje zpět k měniči, kde vytvoří druhé koncové echo. Část se však znovu odrazí zpět do svaru a celý proces se opakuje se stále menší a menší amplitudou. Takto z jednoho vstupního impulzu, který pronikne do materiálu, vznikne celá série násobných koncových ech, zobrazujících se jako postupně doznívající skupinka ech se stejným vzájemným rozestupem „s“ za vstupním echem. [22]

Obr. č. 16: Schéma při prozvučování bodového svaru



Zdroj: [22]

5.3.2 Hlavní parametry a vlastnosti bodového svaru při UT

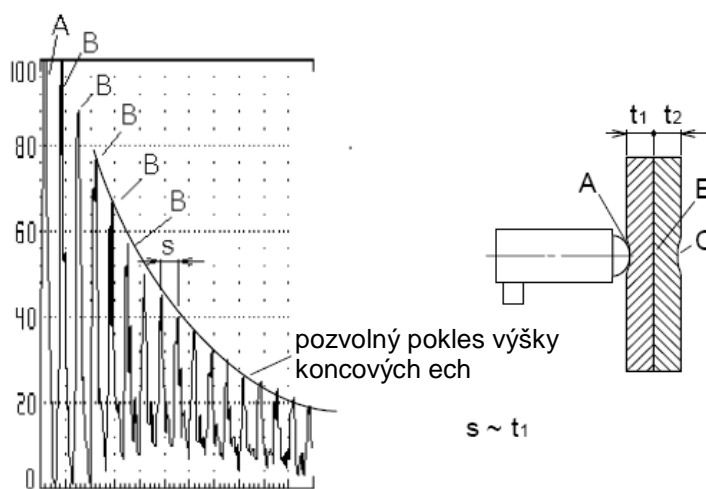
Při ultrazvukové kontrole bodového svaru se posuzují tyto hlavní parametry:

- druh materiálu;
- typ povrchové vrstvy;
- počet vrstev svařených plechů;
- tloušťka jednotlivých plechů;

a vyhodnocují následující hlavní kategorie vad svarů, které jsou dány jejich charakteristickými vlastnostmi:

- žádný svar;
 - malý průměr bodu (nuget);
 - svar s velkým vtiskem (tenký svar);
 - slepený svar (nebo přeplátovaný);
 - vady (porozita) v bodu;
 - spálený svar;
 - více vad (např. malý průměr bodu a tlustý svar).
- **Žádný svar** – nejzřetelnějším prvkem žádného svaru je opakované echo znázorňující tloušťku vrchního svařovaného plechu. Tlumení echa od rozhraní svaru je charakteristické pro zrnitou strukturu svařovaného materiálu. Protože zde ke změně materiálové struktury nedošlo, není zde výrazné tlumení.

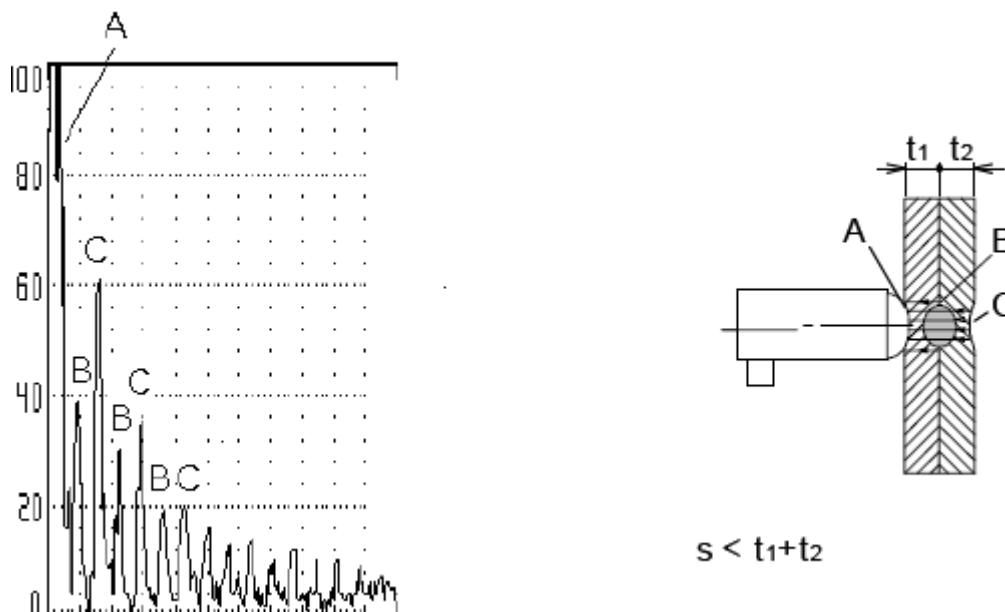
Obr. č. 17: Tvar průběhu ech při úplně nespojených plechách



Zdroj: [22]

- **Malý průměr bodu** – ultrazvuková sonda je vždy vybrána tak, aby ultrazvukový svazek odpovídal průměru svaru. Proto jsou poddimenzované svary charakterizovány neúplnými odrazy od rozhraní spoje. Obalová křivka těchto meziech má charakteristický tvar (tímto se poddimenzovaný bodový svar odlišuje od slepeného svaru nebo porozity ve svaru).

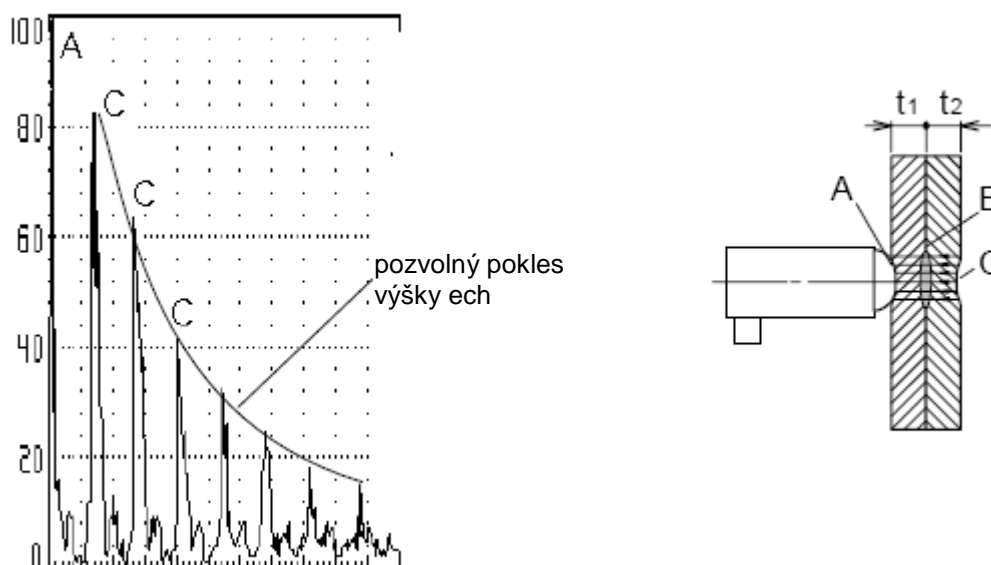
Obr. č. 18: Průběh ech při malém průměru čochy nebo chybě ve svaru



Zdroj: [22]

- **Svar s velkým vtiskem** – nesprávný svařovací proud, doba kontaktu a tlak elektrod způsobují tenké bodové svary. Vzhled charakteristického tenkého bodu je podobný dobrému stavu, a často tak zmátne i zkušenou obsluhu. Typické rysy zobrazení tenkého svaru jsou určeny měřením celkové tloušťky svařovaných plechů na základě časových úseků mezi opakovanými echy svařovaných plechů o daných tloušťkách.
- **Slepený svar** (nebo přeplátovaný) – není skrz celou tloušťku svařených plechů. Menší útlum v přeplátovaném svaru (ve srovnání s dobrým svarem) má za následek menší útlum signálu. Často je také zřetelné echo od rozhraní svaru.

Obr. č. 19: Průběh ech při studeném spoji



Zdroj: [22]

- **Porozita (vady) ve svaru** – A – zobrazení signálu se skládá z ech od zadní stěny svařence a mezích od pórů nebo vad v bodu. Pořadí mezích znázorňuje ubývající amplitudu, která po několika opakováních prakticky zmizí.
- **Spálený svar** – A – zobrazení signálu propáleného bodu je charakterizováno echy o nízké amplitudě.

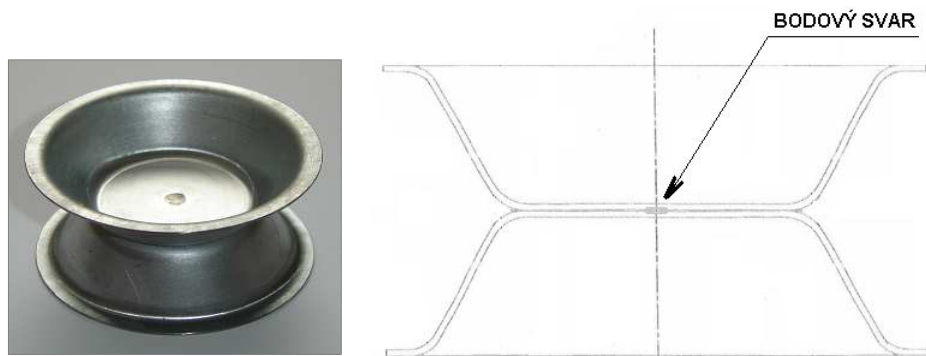
5.3.3 Příprava vzorků

K této zkoušce nebylo bohužel možné zajistit větší počet vzorků. Bylo to z důvodu použití těchto vzorků k únavovým zkouškám, pro které byly vyrobeny a které stále probíhají.

Počet dodaných kusů k posouzení kvality byl 8, z toho 6ks z oceli DX56D+Z tl. 0,8 (vzorky s označením DX08 – 3 ks) a 1,5 mm (vzorky s označením DX15 – 3 ks) a 2 ks z oceli H220PD tl. 0,8 mm (vzorky s označením H08). Dva tvarově stejné díly ve tvaru misky byly v jejich středu ručně svařeny bodovým svarem. Při svařování byly použity tyto parametry: pro tloušťku plechu 0,8 mm (počet period 10, svařovací proud 9,2 kA, tlak elektrod 320 daN), pro tloušťku plechu 1,5 mm (počet period 10, svařovací

proud 12, 5 kA, tlak elektrod 320 daN). Průměr použitých elektrod byl zvolen dle tloušťek svařovaných plechů.

Obr. č. 20: Vzorek pro ultrazvukovou zkoušku „kalíšek“



Zdroj: vlastní

5.3.4 Provedení ultrazvukové kontroly bodových svarů

Ultrazvuková kontrola bodových svarů byla provedena na přenosném digitálním ultrazvukovém defektoskopu Olympus Epoch 1000i s čelní sondou 20 MHz s vodní předsádkou typu V2116. Cílem této metody bylo zjištění, zda svařené vzorky neobsahují vady ve svarové čočce a zda je průměr čočky vyhovující.

Obr. č. 21: Digitální ultrazvukový defektoskop Olympus Epoch 1000i

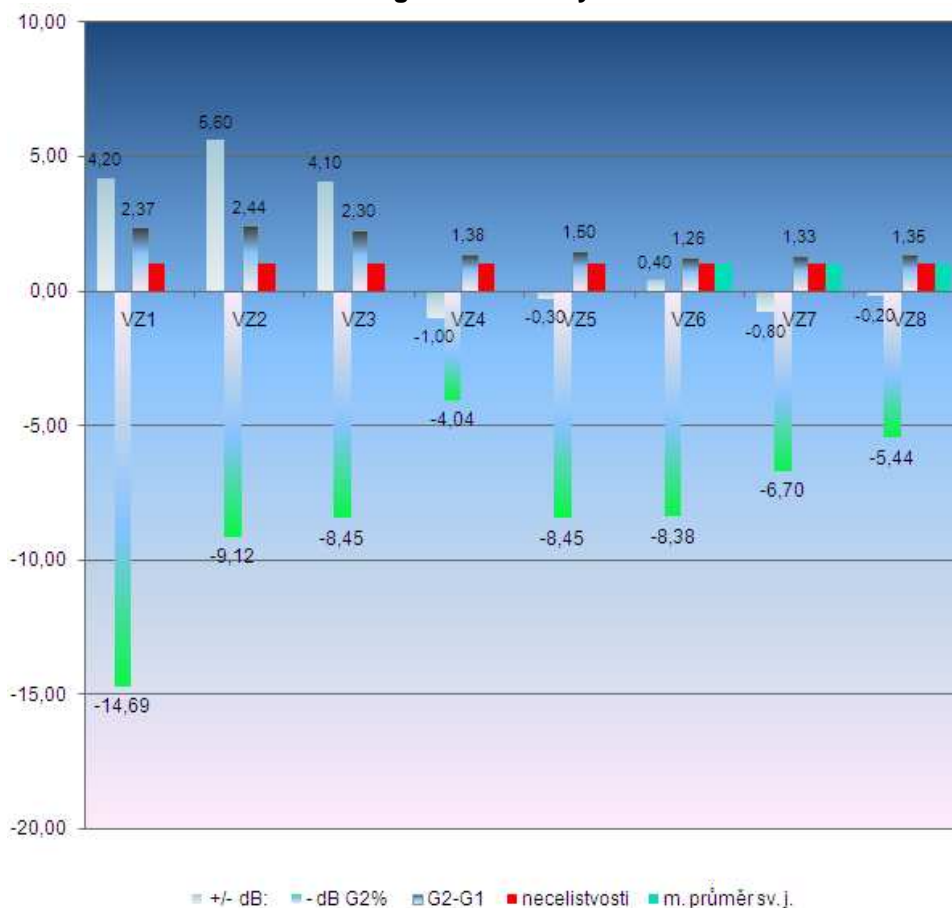


Zdroj: [23]

Povrch všech vzorků byl řádně očištěn od mastnoty a nečistot. Před kontrolou se musel přístroj zkalibrovat a nastavit na správné hodnoty, aby měření proběhlo dle předpisů.

U všech měřených vzorků byly zjištěny necelistvosti (póry, bubliny, trhliny), které vznikly při procesu svařování. U vzorků DX08 a H08 byl navíc naměřen menší průměr svarové čočky, než byl průměr použité sondy. Základní materiál, zřejmě neporušen svařovacím procesem, má hrubší vnitřní strukturu. Naopak podle naměřených charakteristik vnitřní struktura svarového bodu je jemnější.

Obr. č. 22: Diagram naměřených hodnot UT

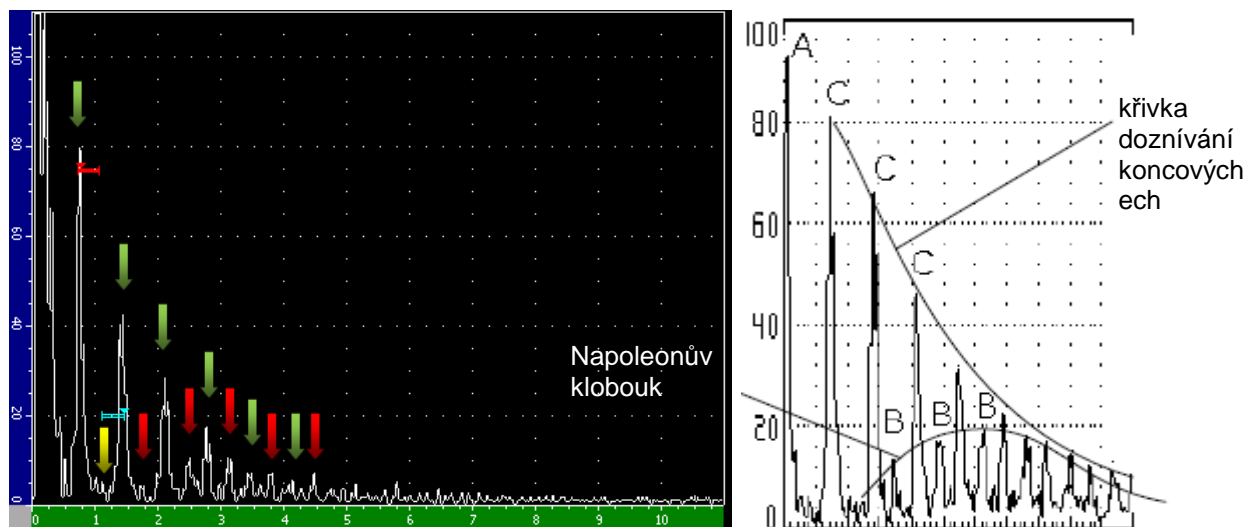


Zdroj: vlastní

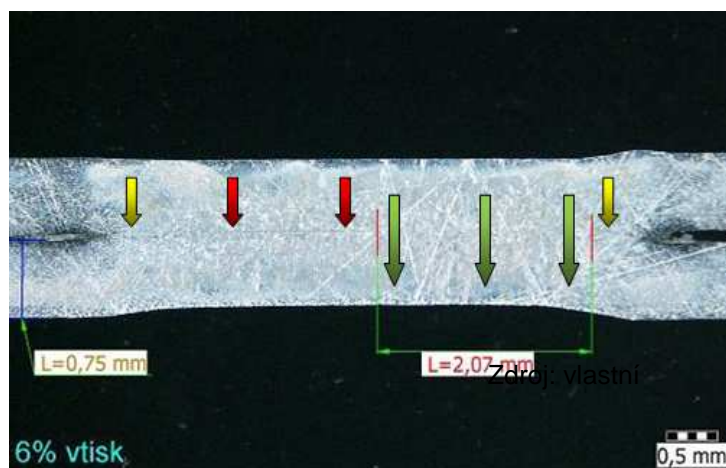
Legenda:

+/- dB	rozdíl úrovně zesílení od referenční úrovně zesílení
-dB2%	dB pokles amplitudy echa v druhé bráně
G2-1	vzdálenost v mm mezi vrcholy koncových ech
1%, 2%	označení brány 1 a 2 (délka bran koresponduje s tloušťkou párových plechů)
VZ1-3	vzorky DX15
VZ4-5	vzorky H08
VZ6-8	vzorky DX08

Obr. č. 23: Echo vytvářející tzv. „Napoleonův klobouk“ při malém průměru svarové čočky (vzorek DX08-3)



Obr. č. 24: Výbrus vzorku DX08-3 (červené šipky signalizují neprovařené místo)



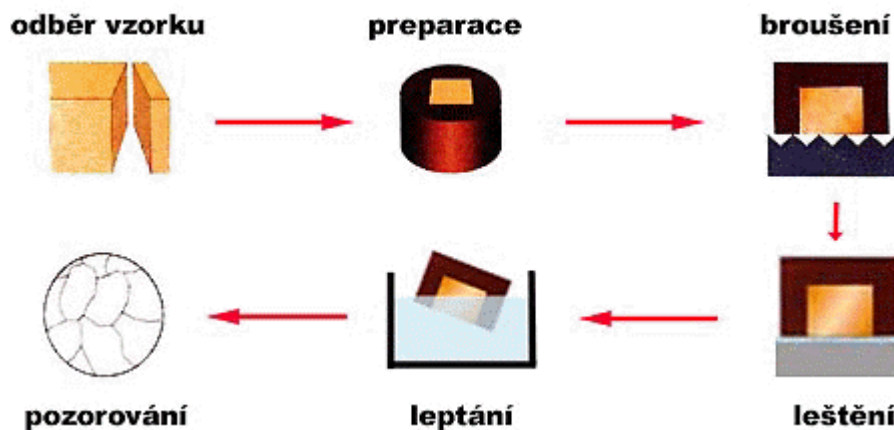
Zdroj: vlastní

5.4 METALOGRAFICKÉ HODNOCENÍ SVAROVÉ ČOČKY

Vzorky s označením skupiny DX08, DX15, H08, které byly podrobeny ultrazvukové kontrole na zjištění vnitřních vad a nehomogenit bodového svaru (kalíšky), dále posloužily k hodnocení svarové čočky a teplem ovlivněné oblasti pomocí metalografického výbrusu. Díky němu lze pozorováním a zkoumáním vnitřní stavby kovů zjišťovat souvislosti mezi strukturou materiálu a jeho vlastnostmi, ale i hledat příčiny vad materiálu.

5.4.1 Příprava metalografického vzorku

Obr. č. 25: Schéma přípravy metalografického vzorku



Zdroj: [24]

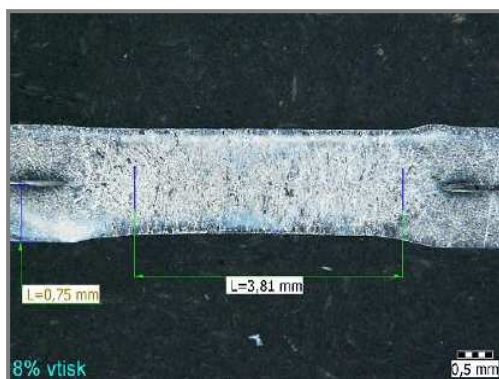
Vzorky byly z kalíšků odebrány pomocí drátořezu M315S Agia a následně nařezány na rozbrušovačce Struers Discotom 60 v rovině kolmé k povrchu plechu středem svarového kovu a zalisovány do pryskyřice. Následovalo rovinné broušení na diamantovém kotouči zrnitosti 120 a jemné broušení na kotouči zrnitosti 9 μm . Na leštění bylo použito perforované sukno s diamantovou pastou zrnitosti 3 μm a na doleštění 1 μm . Vše na zařízení Struers TegraPol 31. Pro zviditelnění struktury byly vzorky naleptány nitalem (2% roztok kyseliny dusičné v alkoholu).

Obr. č. 26: Zhotovení metalografického vzorku

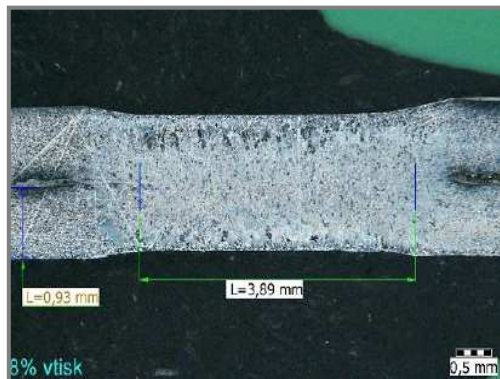


Zdroj: vlastní

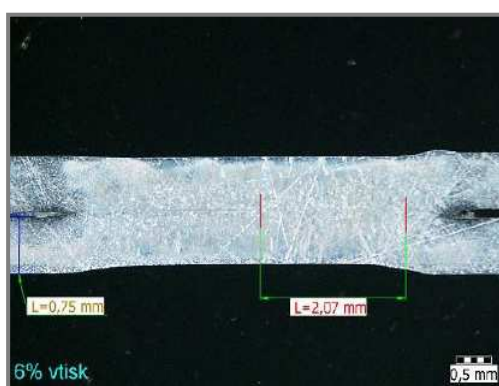
Obr. č. 28: Výbrus vzorku DX08-1



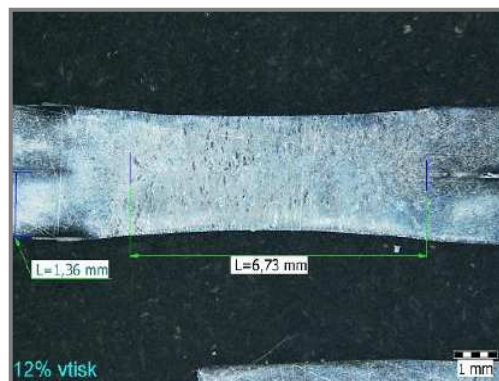
Obr. č. 29: Výbrus vzorku DX08-2



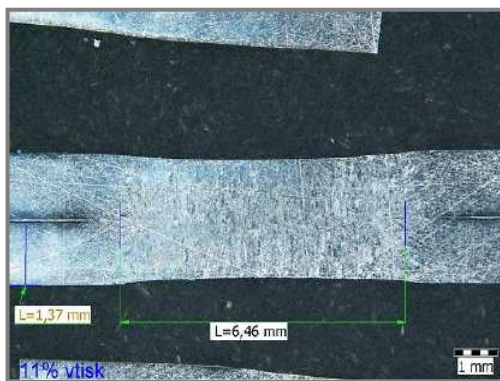
Obr. č. 30: Výbrus vzorku DX08-3



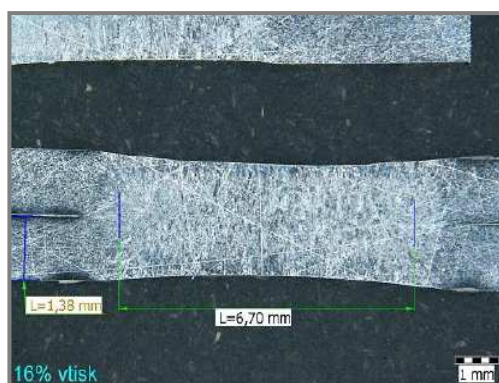
Obr. č. 31: Výbrus vzorku DX15-1



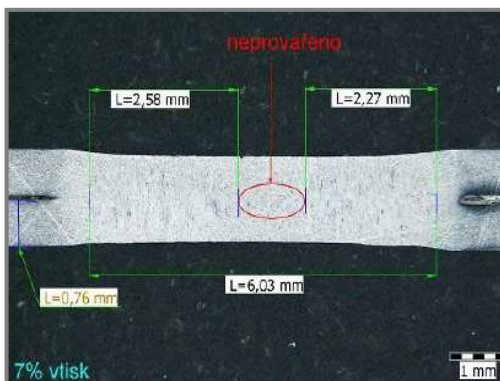
Obr. č. 32: Výbrus vzorku DX15-2



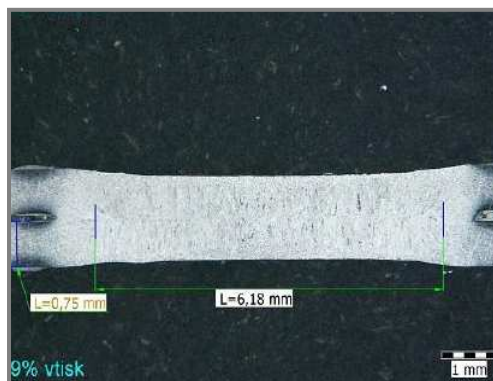
Obr. č. 33: Výbrus vzorku DX15-3



Obr. č. 34: Výbrus vzorku H08-1



Obr. č. 35: Výbrus vzorku H08-2



Zdroj: vlastní

Tabulka č. 6: Naměřené hodnoty průměru svarové čochky a vtisku elektrod

Skupina/ vzorek č.		Naměřený průměr svarové čochky [mm]	Vtisk elektrod [%]	Hodnocení svaru
DX08	1	3,81	8	Vyhovuje
	2	3,89	8	Vyhovuje
	3	2,07	6	Nedostatečně provařeno
DX15	1	6,73	12	Vyhovuje
	2	6,46	11	Vyhovuje
	3	6,70	16	Vyhovuje
H08	1	2,58, 2,27 (2 čochky)	7	Neprovařeno
	2	6,18	9	Vyhovuje

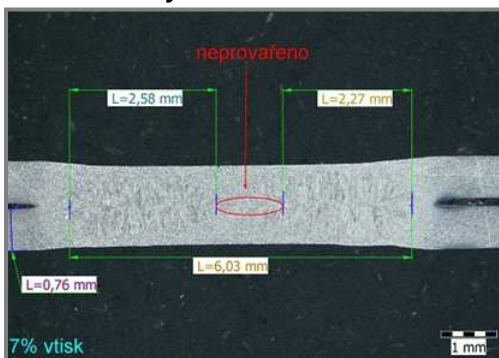
Zdroj: vlastní

5.4.2.2 Hodnocení mikrostruktury

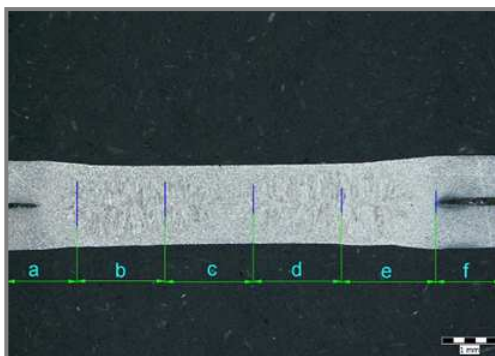
Po opětovném naleptání vzorků byla na metalografickém mikroskopu Olympus DP71 hodnocena i mikrostruktura základního materiálu (ZM), teplem ovlivněné oblasti (TOO) a svarového kovu (SK).

Detailní ukázka struktury neprovařeného vzorku H08-1

Obr. č. 36: Výbrus vzorku H08-1



Obr. č. 37: Rozdělení vzorku na detailní části



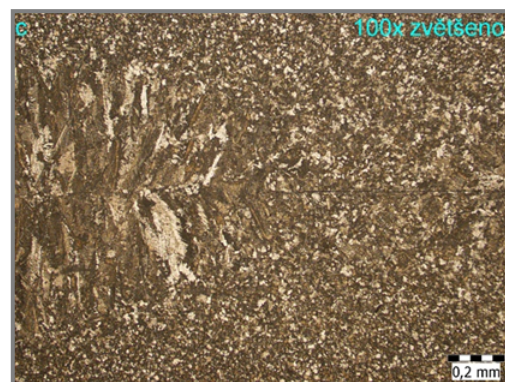
Obr. č. 38: Přejchod ZM a TOO



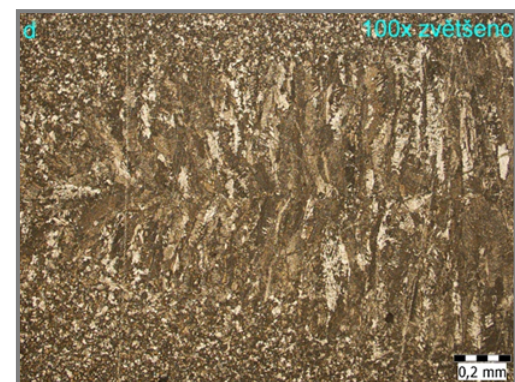
Obr. č. 39: První svarová čochka



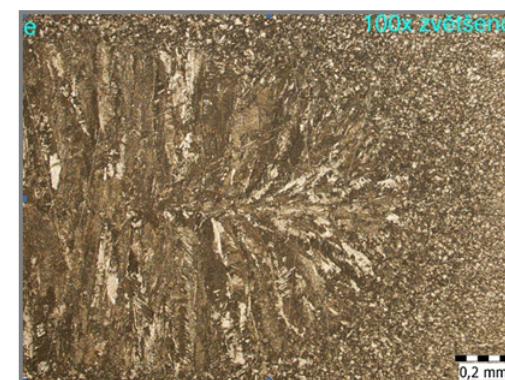
Obr. č. 40: Neprovařené místo



Obr. č. 41: Druhá svarová čochka



Obr. č. 42: Druhá svarová čochka/ TOO

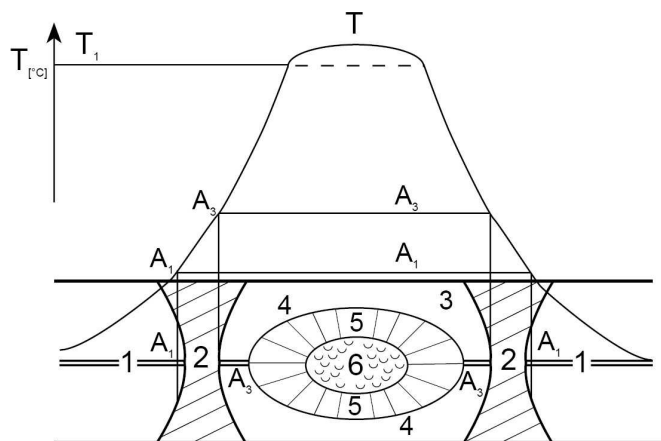


Obr. č. 43: Přejchod TOO/ ZM



Jednotlivé oblasti struktury bodového svaru jsou zobrazeny na obr. č. 44 a následně popsány (viz níže) pro oba materiály, ze kterých byly vzorky vyhotoveny.

Obr. č. 44: Metalografický výbrus napříč bodovým svarem



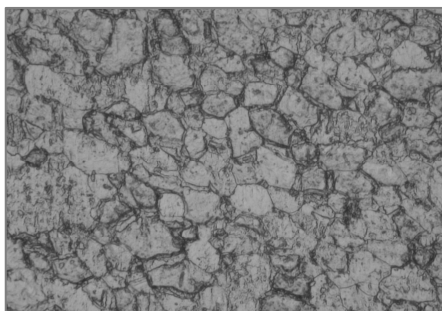
Zdroj: vlastní

Obrázek zobrazuje makrostrukturu výbrusu vedeného kolmo na svařované díly. Natavená oblast má tvar elipsy se dvěma osami souměrnosti. Velkou osu tvoří čára styku obou svařovaných dílů, druhá osa souměrnosti prochází osou elektrod kolmo na plochu svařovaných dílů.

Tento eliptický tvar vzniká v důsledku rozložení teplotního pole. V rovině svařovaných dílů mají izotermy tvar kružnic. Změna parametrů svařování má velký vliv na tvar bodového svaru. Například měkký režim svařování s delším svařovacím časem rozšiřuje izotermy a profil bodu je více protáhlý.

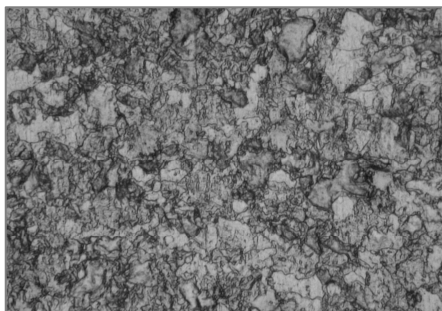
Mikrostruktura svarové čocky materiálu H220 PD (vzorek H08-1)

Obr. č. 45: Oblast základního materiálu



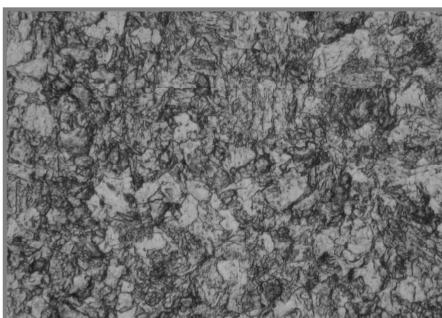
Oblast 1: Oblast základního materiálu, neovlivněná tepelným cyklem. V této oblasti si materiál zachovává původní strukturu, která je feritická s místními náznaky perlitu. U většího zvětšení jsou patrné drobné útvary terciálního cementitu po hranicích zrn (zvětšeno 500 x).

Obr. č. 46: Oblast mezi teplotami A_1 a A_3



Oblast 2: Oblast vymezená teplotami přeměny oceli A_1 a A_3 , v níž se struktura stává zrnitou a perlit se snaží přeskupit a shlukovat. (zvětšeno 500 x).

Obr. č. 47: Oblast žíhání



Oblast 3: Oblast žíhání, odpovídající teplotám těsně nad A_3 , kde struktura se zjemňuje a rekrytalizuje kov původně tvářený za studena (zvětšeno 500 x).

Obr. č. 48: Oblast vnější vrstvy roztaveného pásma



Oblast 5: Oblast vnější vrstvy roztaveného pásma, která má orientovanou dendritickou krystalizaci. (zvětšeno 200 x).

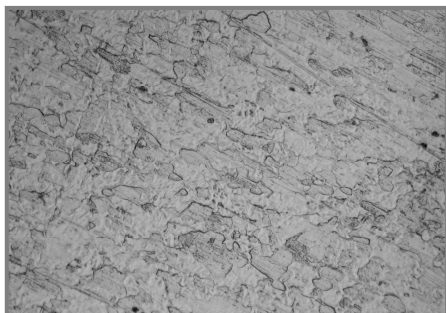
Obr. č. 49: Oblast vnitřní vrstvy roztaveného pásma



Oblast 6: Úzká oblast vnitřní vrstvy roztaveného pásma s rovnoosými krystaly. (zvětšeno 200 x).

Mikrostruktura svarové čochy materiálu DX56D+Z (vzorek DX08-3)

Obr. č. 50: Oblast základního materiálu



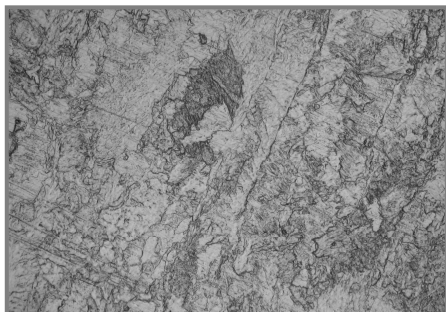
Oblast 1: Oblast základního materiálu, struktura čistě feritická, poměrně jemnozrnná se známkami rekrystalizace. (zvětšeno 200 x).

Obr. č. 51: Oblast mezi teplotami A_1 a A_3



Oblast 2: Oblast vymezená teplotami přeměny oceli A_1 a A_3 , v níž se struktura stává zrnitou a perlit se snaží přeskupit a shlukovat. (zvětšeno 500 x).

Obr. č. 52: Oblast žíhání



Oblast 3: Oblast pásma žíhání, odpovídající teplotám těsně nad A_3 , kde se struktura zjemňuje a rekrystalizuje kov tvářený původně za studena (zvětšeno 200 x).

Obr. č. 53: Oblast vnější vrstvy roztaveného pásma



Oblast 5: Oblast vnější vrstvy roztaveného pásma, která má orientovanou dendritickou krystalizaci. (zvětšeno 500 x).

Obr. č. 54: Oblast vnitřní vrstvy roztaveného pásma



Oblast 6: Úzká oblast vnitřní vrstvy roztaveného pásma s rovnoosými krystaly (zvětšeno 200 x).

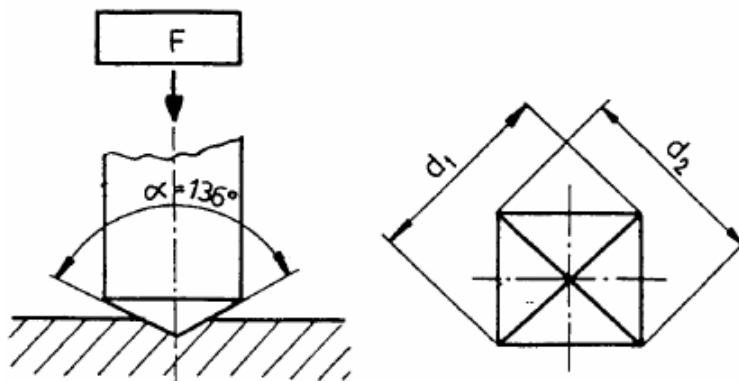
Zdroj: vlastní

5.4.3 Mikrotvrdost

5.4.3.1 Princip měření

Diamantové vnikací těleso ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou a daným vrcholovým úhlem (136°) mezi protilehlými stěnami je vtlačováno do povrchu zkušebního tělesa. Následně je měřena úhlopříčka vtisku, která zůstane po odlehčení zkušebního tělesa.

Obr. č. 55: Podstata zkoušky tvrdosti podle Vickerse



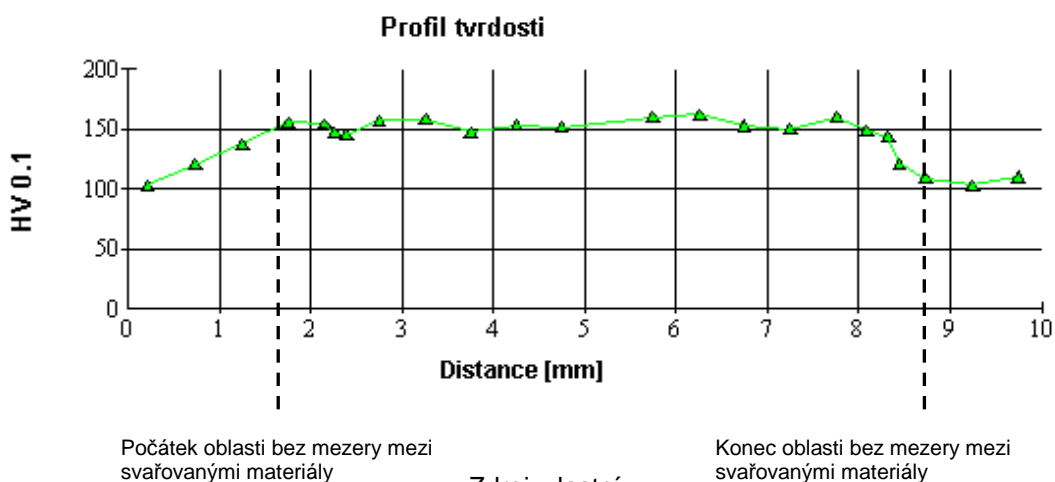
Zdroj: [25]

Tvrdost dle Vickerse je následně vyjádřena jako poměr zkušebního zatížení k ploše vtisku, jenž se uvažuje jako pravidelný čtyřboký jehlan se čtvercovou základnou a s vrcholovým úhlem rovnajícím se úhlu vnikajícího se tělesa (136°). [25]

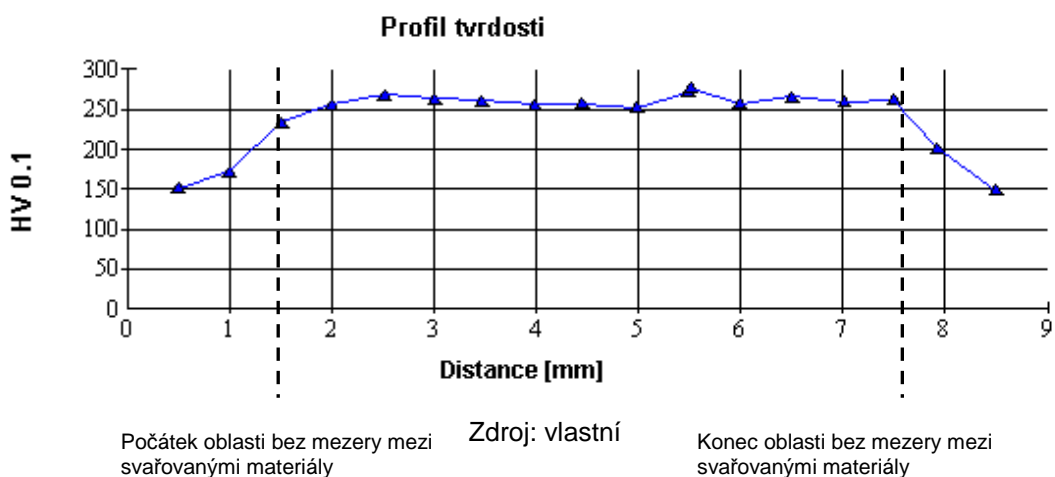
5.4.3.2 Naměřené hodnoty tvrdosti

Mikrotvrdost byla měřena na metalografických výbrusech u vzorků DX08, DX15, H08 a to na mikrotvrdoměru MICROMET 2100 firmy Buehler metodou dle Vickerse stupnice HV0,1. Vzorky byly zatěžovány silou 0,9807 N (100g) po dobu 12s. Hodnoty tvrdosti byly zjišťovány napříč bodovým svařem, tj. v oblasti základního materiálu (ZM), teplem ovlivněné oblasti (TOO) a svarového kovu (SK) čocky a jsou uvedeny v grafech (viz níže).

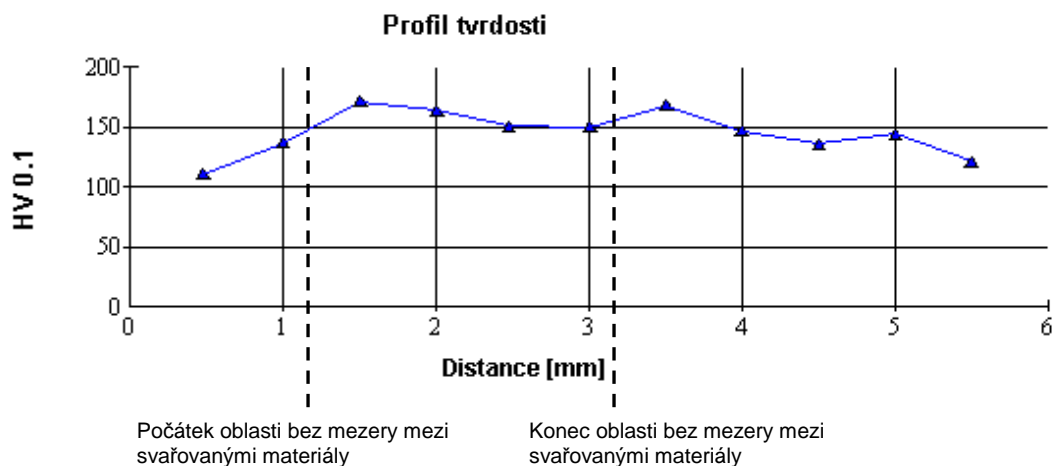
Graf č. 4: Naměřená mikrotvrdost oceli DX56D+Z tl. 1,5 mm (vzorek DX15-1)



Graf č. 5: Naměřená mikrotvrdost oceli H220PD tl. 0,8 mm (vzorek H08-1)



Graf č. 6: Naměřená mikrotvrdost oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm (vzorek DX08-3)



U většiny měřených vzorků byl pozorován nárůst tvrdosti v oblasti TOO, kde bylo hrubší zrna, které výrazně zhoršuje plasticitu (vrubovou a lomovou houževnatost) a zvyšuje náchylnost k praskání. Zde byly také naměřeny nejvyšší hodnoty tvrdosti. Hodnoty pevnosti základního materiálu u obou ocelí byly naměřeny o něco větší, než udává výrobce. Tvrdost teplem ovlivněné oblasti se průměrně pohybovala na 150 – 155 HV (R_m 480 – 495 N/mm²) u DX56D+Z a 240 – 290 HV (R_m 770 – 930 N/mm²) u H220PD. Tvrdost svarové čochky byla o něco nižší, než TOO.

6 ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo materiálově vyhodnotit svarovou čočku u vzorků z ocelí vyšší pevnosti, které byly určeny k probíhajícím únavovým zkouškám (kalíšky). Získané údaje poslouží jako podklady únavových zkoušek pro výpočtářské oddělení technického vývoje ŠKODA AUTO.

V práci byly zmíněny základní destruktivní i nedestruktivní metodiky zkoušení bodových svarů. Některé z nich jsem použil v praktické části k vyhodnocení použitých vzorků. K ověření pevnosti bodových svarů byla vybrána tahová zkouška smykem, která nejvíce odpovídá provoznímu zatížení. Požadavkem byla co možná nejvyšší rychlost zatěžování, aby se výsledky deformace přiblížily reálné situaci při nárazových testech. Ta byla ovšem limitována technickými parametry trhacího stroje. Výsledky této zkoušky jsou publikovány jako maximální smyková síla, potřebná k destrukci svařeného vzorku. U všech vzorků došlo k odtržení svarové čočky od základního materiálu. Průměrná hodnota destrukční síly byla u vzorků oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm (4,38 kN), DX56D+Z tl. 1,5 mm (10,05 kN) a H220PD tl. 0,8 mm (5,76 kN). Výsledky této zkoušky lze však brát pouze jako informativní. Vzorky pro tuto zkoušku byly sice ze stejných ocelí jako „kalíšky“, ale bodově svařeny za jiných svařovacích podmínek, než vzorky určené k hodnocení.

Další metodou, která měla zhodnotit svarovou čočku byla nedestruktivní zkouška ultrazvukem. Zkouška měla potvrdit či vyvrátit výskyt vad ve svarovém spoji a určit, zda-li čočka vyhovuje rozměrově. U všech vzorků byly zjištěny necelistvosti (póry, trhliny, bubliny), které vznikly při procesu svařování. Ty jsou přípustné jen ve střední polovině průměru svarové čočky jinde ne. Tyto necelistvosti mohly vzniknout v době svařování, kdy se zinek vypařoval z povrchu, a vlivem par se vytvořily póry. Proto by bylo vhodné při dalším zhotovení takovýchto vzorků povrch svarových ploch řádně očistit. Zamezí se vzniku pórů a zvýší se tím pevnost ve smyku. Struktura základního materiálu se pomocí charakteristik A-scanu ukázala jako hrubozrnná oproti struktuře svarového kovu, která byla jemnozrnná. U všech vzorků obou ocelí s tloušťkou plechu 0,8 mm byl naměřen menší průměr svarové čočky, než byl průměr použité sondy.

Posledním hodnocením byla metalografická zkouška, při které se provedl výbrus ve středové rovině bodového svaru. Pomocí něho se mohl určit průměr svarové čočky a zhodnotit struktura základního materiálu, teplem ovlivněné oblasti a svarového kovu.

Výbrus potvrdil nedokonalé provaření u dvou vzorků (DX08-3 a H08-1), které bylo zřejmě zapříčiněno špatnými svařovacími podmínkami (doba sváření, svářecí proud, přítlak, opotřebení elektrod, kolmost elektrod) při jejich zhotovení. Strukturní složení obou ocelí je podobné. Čistě feritická struktura u oceli DX56D+Z a feriticko-perlitická u oceli H220PD se vlivem svařovacího procesu mění na dendritickou. Na metalografických vzorcích byla změřena i mikrotvrdost podle Vickerse HV0,1 napříč bodovým svarem. Při ní se zjistilo, že hodnoty pevnosti základního materiálu jsou o něco vyšší, než udává výrobce oceli. U většiny měřených vzorků byl pozorován nárůst tvrdosti v oblasti TOO, kde bylo hrubší zrna, které výrazně zhoršuje plasticitu (vrubovou a lomovou houževnatost) a zvyšuje náchylnost k praskání. Zde byly také naměřeny nejvyšší hodnoty tvrdosti.

Metoda hodnocení bodových svarů pomocí ultrazvuku s kombinací metalografické kontroly se ukázala jako vhodná. V provozu závodu ve velkosériové výrobě, kdy potřebujeme mít výsledky takřka okamžitě bohužel není dostatek času pro takováto laboratorní měření, proto lze ultrazvukovou zkoušku kombinovat se zkouškou sekáčovou.

Výsledky této práce byly bohužel limitovány počtem dodaných vzorků, které se použily k únavovým zkouškám. Doporučil bych proto při dalších podobných měřeních věnovat více času na metalografickou přípravu a vyhotovit větší počet kusů, které by se vyhradily přímo k tomuto účelu.

Seznam použité literatury

- [1] *Trendy ve vývoji plechů pro automobilový průmysl* [online]. [cit. 25. 4. 2010]
Dostupné z: < <http://www.ksp.tul.czczkptobsahvyuka...pevnostni%20plechy.pdf> >
- [2] Zborník predn. z konferencie: *Plechý v automobilovom priemysle*. 1. vyd.
Košice: VSŽ (VSÚ+VTS), 1991.
- [3] *Moderní oceli hromadné spotřeby + oceli pro automobilový průmysl* [online].
[cit. 26. 4. 2010] Dostupné z:
<http://www.fsid.cvut.cz/.../04_moderni_oceli_hromadne_spotreby_oceli_pro_automobilovy_prumysl.pdf >
- [4] Slámová, M.: *Vysokopevnostní materiály v konstrukci osobního automobilu*.
: *diplomová práce*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2005.
- [5] *Prezentace – plechy z DP oceli* [online]. [cit. 26. 4. 2010]
Dostupné z: < <http://www.ksp.tul.czczkptobsahvyuka...pevnostni%20plechy.pdf> >
- [6] *Prezentace – plechy z TRIP oceli* [online]. [cit. 26. 4. 2010]
Dostupné z: < <http://www.ksp.tul.czczkptobsahvyuka...pevnostni%20plechy.pdf> >
- [7] *Hodnocení kvality svarového spoje* [online]. [cit. 4. 5. 2010] Dostupné z:
< http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf >
- [8] *ESAB VAMBERK, s.r.o.* [online]. [cit. 28. 4. 2010] Dostupné z:
< <http://www.esab.czc> >
- [9] *Svařování elektrickým odporem* [online]. [cit. 13. 5. 2010] Dostupné z:
< http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/odporove_svarovani.pdf >
- [10] Jordán, S.: *Monitorování základních elektrických veličin u vybraných metod odporového svařování* : *diplomová práce*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2008.
- [11] ČSN EN ISO 14329. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [12] ČSN EN ISO 10447 [online]. [cit. 29. 4. 2010] Dostupné z:
< http://import.technickenormy.cz/nahledy/80178_nahled.htm >
- [13] ČSN EN ISO 14329. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [14] ČSN EN ISO 14324. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [15] ČSN EN ISO 15614-13. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [16] *Vývoj nástrojů pro kontrolu a vyhodnocení bodových svarů* [online].
[cit. 19. 4. 2010] Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-nastroju-pro-kontrolu-a-vyhodnoceni-bodovych-svaru> >
- [17] *ADVANCED TECHNOLOGY GROUP, s.r.o.* [online]. [cit. 7. 4. 2010]
Dostupné z: < <http://www.nandtb.cz/> >
- [18] Kolektiv autorů: *Výroba a aplikované inženýrství*. 1. vyd. Ostrava: Zerros, 2001.
- [19] Kolektiv autorů: *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2002.
- [20] *Resistance spot welding of advanced high strength steel DP600* [online].
[cit. 3. 4. 2010] Dostupné z: < www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/LINK/45.pdf >
- [21] Interní dokumenty Škoda Auto, a.s.
- [22] *Skúšanie bodových zvarových spojov* [online]. [cit. 13. 4. 2010] Dostupné z:
< <http://www.ssndt.sk/files/odborne/Bodove%20zvary.pdf> >
- [23] *Olympus* [online]. [cit. 20. 4. 2010] Dostupné z: < www.olympus.com >
- [24] *Metalografie I. - příprava vzorku pro pozorování mikroskopem* [online].
[cit. 21. 4. 2010] Dostupné z:
< http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/index.htm >
- [25] *Zkouška tvrdosti dle Vickerse* [online]. [cit. 20. 4. 2010] Dostupné z:
< <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/hmsm/Mikrotrvdost/Vickers.htm> >
- [26] Ptáček, L. a kolektiv: *Nauka o materiálu I*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003.

Seznam obrázků, grafů a tabulek

- Obr. č. 1: Ukázka ocelí pro automobilový průmysl
- Obr. č. 2: BH efekt
- Obr. č. 3: Materiálový koncept vozu Škoda Yeti
- Obr. č. 4: Princip bodového odporového svařování
- Obr. č. 5: Rozložení napětí v závislosti na směru zkušebního zatížení
- Obr. č. 6: Tvar zkušebního vzorku pro křížovou zkoušku na únavu v tahu
- Obr. č. 7: Rozložení napětí v závislosti na směru zkušebního zatížení
- Obr. č. 8: Kufřík svářečského kontrolora
- Obr. č. 9: Automatizovaný systém CYCLOPS pro kontrolu bodových svarů
- Obr. č. 10: Princip nalezení vady na feromagnetickém materiálu
- Obr. č. 11: Kontrola bodového svaru prozářením (positiv-negativ)
- Obr. č. 12: Vada v odlitku určená metodou digitální radiografie
- Obr. č. 13: Detail přeplátovaných plechů založených v přípravku
- Obr. č. 14: Založení zkušebního vzorku do čelistí a deformace zkušebního vzorku
- Obr. č. 15: Sonda na zkoušení bodových svarů
- Obr. č. 16: Schéma při prozvučování bodového svaru
- Obr. č. 17: Tvar průběhu ech při úplně nespojených plechách
- Obr. č. 18: Průběh ech při malém průměru čočky nebo chybě ve svaru
- Obr. č. 19: Průběh ech při studeném spoji
- Obr. č. 20: Vzorek pro ultrazvukovou zkoušku „kalíšek“
- Obr. č. 21: Digitální ultrazvukový defektoskop Olympus Epoch 1000i
- Obr. č. 22: Diagram naměřených hodnot UT
- Obr. č. 23: Echo vytvářející tzv. „Napoleonův klobouk“ při malém průměru svarové čočky
- Obr. č. 24: Výbrus vzorku DX08-3 (červené šipky signalizují neprovařené místo)
- Obr. č. 25: Schéma přípravy metalografického vzorku
- Obr. č. 26: Zhotovení metalografického vzorku
- Obr. č. 27: Schéma měření průměru svarové čočky
- Obr. č. 28: Výbrus vzorku DX08-1
- Obr. č. 29: Výbrus vzorku DX08-2
- Obr. č. 30: Výbrus vzorku DX08-3
- Obr. č. 31: Výbrus vzorku DX15-1
- Obr. č. 32: Výbrus vzorku DX15-2
- Obr. č. 33: Výbrus vzorku DX15-3
- Obr. č. 34: Výbrus vzorku H08-1
- Obr. č. 35: Výbrus vzorku H08-2
- Obr. č. 36: Výbrus vzorku H08-1

Obr. č. 37: Rozdělení vzorku na detailní části
 Obr. č. 38: Přejechod ZM a TOO
 Obr. č. 39: První svarová čočka
 Obr. č. 40: Neprovažené místo
 Obr. č. 41: Druhá svarová čočka
 Obr. č. 42: Druhá svarová čočka/ TOO
 Obr. č. 43: Přejechod TOO/ ZM
 Obr. č. 44: Metalografický výbrus napříč bodovým svarem
 Obr. č. 45: Oblast základního materiálu
 Obr. č. 46: Oblast mezi teplotami A1 a A3
 Obr. č. 47: Oblast žíhání
 Obr. č. 48: Oblast vnější vrstvy roztaveného pásma
 Obr. č. 49: Oblast vnitřní vrstvy roztaveného pásma
 Obr. č. 50: Oblast základního materiálu
 Obr. č. 51: Oblast mezi teplotami A1 a A3
 Obr. č. 52: Oblast žíhání
 Obr. č. 53: Oblast vnější vrstvy roztaveného pásma
 Obr. č. 54: Oblast vnitřní vrstvy roztaveného pásma
 Obr. č. 55: Podstata zkoušky tvrdosti podle Vickerse

Tabulka č. 1: Chemické složení oceli DX56D+Z a H220PD (v hm %)

Tabulka č. 2: Mechanické hodnoty oceli DX56D+Z a H220PD

Tabulka č. 3: Naměřené hodnoty svařených vzorků oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm

Tabulka č. 4: Naměřené hodnoty svařených vzorků oceli DX56D+Z tl. 1,5 mm

Tabulka č. 5: Naměřené hodnoty svařených vzorků oceli H220PD tl. 0,8 mm

Tabulka č. 6: Naměřené hodnoty průměru svarové čočky a vtisku elektrod

Graf č. 1: Diagram tahové zkoušky smykem oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm

Graf č. 2: Diagram tahové zkoušky smykem oceli DX56D+Z tl. 1,5 mm

Graf č. 3: Diagram tahové zkoušky smykem oceli H220PD tl. 0,8 mm

Graf č. 4: Naměřená mikrotvrdość oceli DX56D+Z tl. 1,5 mm (vzorek DX15-1)

Graf č. 5: Naměřená mikrotvrdość oceli H220PD tl. 0,8 mm (vzorek H08-1)

Graf č. 6: Naměřená mikrotvrdość oceli DX56D+Z tl. 0,8 mm (vzorek DX08-3)